

Treball de Fi de Màster

## **Màster universitari en enginyeria industrial**

# **Anàlisi de la situació energètica espanyola al 2040**

### **MEMÒRIA**

**Autor:** Sara Lujan Tutusaus  
**Director:** Jordi Freixa Terradas  
**Convocatòria:** Juliol 2019



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resum

Actualment, el món en el que vivim es troba en una situació de canvi de mentalitat respecte als recursos energètics que s'havien tingut anteriorment. Degut al fet que cada cop més la societat ha aprofitat els recursos que ens ha ofert la naturalesa, s'ha acabat arribant a una situació crítica de contaminació i d'esgotament de recursos energètics a la que cal fer front per tal de mantenir el planeta en unes condicions adequades i evitar o minimitzar danys futurs, com el canvi climàtic, que es podrien produir o que ja s'estan produint.

Degut al fet de l'existència d'aquesta problemàtica, s'han establert diverses polítiques per tal de minimitzar aquests efectes. El projecte d'estudi es basarà en dues polítiques que afectaran al territori espanyol en un futur a mig termini, ja que afecten a l'any 2040 però tenen una projecció al llarg dels anys de manera progressiva.

La primera d'aquestes polítiques consta en la prohibició de circulació de vehicles de combustió al territori, començant per les gran ciutats i finalitzant amb la totalitat del territori. L'altra política que també afectarà al sistema energètic espanyol, serà la de tancar el total de centrals nuclears i de carbó del país en un termini de 20 anys.

En el projecte es parteix d'aquestes premisses, i partint dels valors actuals de capacitat energètica espanyola i de demanda, es realitzarà un prognòs per tal de arribar a la situació que es prediu que es tindrà en el futur a mig termini. A partir d'aquestes dades, s'ha dissenyat una metodologia per poder acotar de manera òptima el sistema energètic espanyol que s'estima que es tindrà.

Les dades que s'han definit i dimensionat han sigut la potència de les centrals de cicle combinat que s'hauran d'instal·lar per tal de suplir la demanda en els moments en que no es pugui suplir partint d'energies renovables no generadores de CO<sub>2</sub>, en el cas que la potència instal·lada actualment sigui inferior a la necessària, la inversió que haurà de realitzar aquesta població per tal de minimitzar les generacions de CO<sub>2</sub> creant més potència instal·lada de centrals d'energies renovables i, per últim, la influència del tancament de les centrals nuclears i de carbó.

Com es podrà observar amb les dades obtingudes amb el programa, el fet de tancar les nuclears i de carbó de manera definitiva, impossibilitarà el fet de no generar emissions de CO<sub>2</sub>, ja que per tal de mantenir la robustesa del sistema, serà imprescindible comptar amb les centrals de cicle combinat.

# Índex

<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>8</b>
<b>2. SITUACIÓ ENERGÈTICA ACTUAL AL TERRITORI ESPANYOL</b>	<b>9</b>
2.1. Producció d'energia	9
2.1.1. Centrals de generació elèctrica d'Espanya	17
2.2. Consum d'energia	22
2.3. Importacions i exportacions d'energia	27
<b>3. PROBLEMÀTICA</b>	<b>30</b>
3.1. Vehicle elèctric	30
3.2. Centrals nuclears i de carbó	34
<b>4. METODOLOGIA D'ANÀLISI</b>	<b>36</b>
<b>5. DADES D'ENTRADA</b>	<b>53</b>
5.1. Demanda energètica	53
5.1.1. Demanda energètica de l'any 2019	54
5.1.2. Demanda energètica de l'any 2040	56
5.1.3. Demanda energètica de l'any 2040 amb vehicles elèctrics	58
5.2. Factors de càrrega eòlic i solar	59
5.3. Centrals hidroelèctriques reversibles	62
5.4. Condicions de contorn del programa	64
<b>6. ANÀLISI DE LA SITUACIÓ ENERGÈTICA AL TERRITORI ESPANYOL L'ANY 2040</b>	<b>68</b>
6.1. Càlcul de la inversió	68
6.2. Anàlisi de la situació espanyola actual	70
6.3. Anàlisi de la situació espanyola al 2030	74
6.4. Anàlisi de la situació espanyola al 2040	75
6.5. Anàlisi de sensibilitat	80
<b>7. CONCLUSIONS</b>	<b>84</b>
<b>8. PLANIFICACIÓ</b>	<b>85</b>
<b>9. PRESSUPOST</b>	<b>86</b>
<b>10. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>87</b>
<b>11. AGRAÏMENTS</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIES</b>	<b>89</b>

# Índex de figures

Figura 1 Distribució de generació d'energia a Espanya l'any 2018 .....	9
Figura 2 Evolució de la contribució de l'energia renovable a la generació.....	10
Figura 3 Evolució de la contribució de l'energia eòlica a la generació .....	11
Figura 4 Evolució de la contribució de l'energia solar tèrmica a la generació .....	11
Figura 5 Evolució de la contribució de l'energia hidràulica a la generació .....	12
Figura 6 Evolució de la producció de CO2 a Espanya .....	16
Figura 7 Evolució de la producció de CO2 per 1000\$ de PIB a Espanya.....	16
Figura 8 Evolució de la producció de CO2 per habitant a Espanya.....	16
Figura 9 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2016 .....	22
Figura 10 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2017 .....	22
Figura 11 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2018 .....	23
Figura 12 Evolució de la demanda i de la producció màxima mensuals l'any 2018 .....	24
Figura 13 Hores de màxima demanda per mes .....	25
Figura 14 Distribució de la demanda al llarg del dia .....	26
Figura 15 Capacitat d'intercanvi comercial d'Espanya (MW).....	28
Figura 16 Implicacions de la nova normativa climàtica [9].....	31
Figura 17 Estructura vehicle combustió respecte a vehicle elèctric.....	33
Figura 18 Previsió de tancament de les centrals nuclears a Espanya [10].....	35
Figura 19 Esquema de funcionament del programa.....	36
Figura 20 Esquema de funcionament del programa.....	41
Figura 21 Evolució demanda energètica al novembre .....	55
Figura 22Evolució demanda energètica al febrer .....	55

Figura 23 Evolució de la demanda energètica el dia 6 de febrer de 2019 a la península .....	56
Figura 24 Evolució de la població espanyola .....	57
Figura 25 Extrapolació de l'evolució de la demanda energètica .....	57
Figura 26 Evolució de la demanda tenint en compte els factors població i vehicle elèctric ..	59
Figura 27 Evolució del factor de càrrega de l'energia eòlica per a les dues setmanes de novembre .....	60
Figura 28 Evolució del factor de càrrega de l'energia solar per a les dues setmanes de novembre .....	60
Figura 29 Evolució del factor de càrrega de l'energia eòlica per a les dues setmanes de febrer .....	61
Figura 30 Evolució del factor de càrrega de l'energia solar per a les dues setmanes de febrer .....	61
Figura 31 Reserves hidroelèctriques .....	63
Figura 32 Càlcul de la inversió òptima .....	69
Figura 33 Distribució òptima del sistema energètic actual .....	71
Figura 34 Potència de cicle combinat generada en la situació òptima actual .....	72
Figura 35 Distribució del mix d'energia òptim actual .....	73
Figura 36 Distribució del mix energètic al 2030 .....	74
Figura 37 Distribució de la demanda a la situació futura .....	75
Figura 38 Distribució òptima del sistema energètic futur .....	76
Figura 39 Evolució de les reserves en pantans al 2040 .....	77
Figura 40 Evolució de la potència generada amb cicle combinat al 2040 .....	78
Figura 41 Evolució de la potència exportada al 2040 .....	78
Figura 42 Distribució del mix d'energia òptim futur .....	79
Figura 43 Límits de potència generada eòlica .....	81

Figura 44 Límits de potència generada solar ..... 81

Figura 45 Límits de potència generada per cicle combinat ..... 81

## Índex de taules

Taula 1 Generació d'energia a Espanya l'any 2018 per tipus de recurs.....	13
Taula 2 Generació d'energia a Espanya l'any 2018 per tipus de generació .....	14
Taula 3 Distribució energia eòlica per comunitats autònomes.....	18
Taula 4 Distribució energia hidràulica per comunitats autònomes.....	19
Taula 5 Distribució energia solar fotovoltaica per comunitats autònomes .....	21
Taula 6 Importacions i exportacions espanyoles anuals (GWh) .....	29
Taula 7 Cost d'instal·lació d'energia solar fotovoltaica .....	65
Taula 8 Estimació de l'evolució de la població espanyola .....	66
Taula 9 Valors trobats en les situacions límit.....	83
Taula 10 Planificació temporal del projecte .....	85
Taula 11 Despesa deguda a la implementació del model .....	86
Taula 12 Despesa deguda a la implementació del model .....	87

# 1. Introducció

En aquest projecte es tractarà sobre algunes de les polítiques que molt probablement s'aplicaran al territori espanyol per tal de fer front al canvi climàtic que s'està produint en el món en el que vivim, amb una projecció de cara a l'any 2040 però amb una progressió escalonada en els anys per tal de que el canvi sigui menys agressiu.

Els escenaris o polítiques que s'analitzaran al llarg del projecte són el fet de prohibir la circulació de vehicles de combustió pel territori, d'una forma escalonada, substituint aquests per vehicles elèctrics i, d'altra banda, el tancament de les centrals nuclears progressivament segons l'antiguitat d'aquestes. L'anàlisi es centrarà íntegrament en aquestes dues polítiques i en l'evolució de la població del territori espanyol al llarg dels anys per tal de definir quina serà la demanda energètica en l'evolució del temps, ja que s'ha considerat que aquestes dades poden tenir una variació significativa en l'estructura energètica espanyola i, d'aquesta manera, es podrà quantificar aquesta afectació. Per tant, un dels objectius d'aquest projecte serà el d'analitzar cada una d'aquestes polítiques íntegrament per poder deduir com aniran afectant al llarg dels anys al sistema energètic espanyol, després d'haver realitzat un anàlisi de la situació espanyola actual per tal de poder entendre quin és el punt de partida.

Amb la deducció de la situació futura de demanda energètica espanyola s'analitzarà quines són les potències renovables que s'hauran d'instal·lar, per tal de que amb el mínim d'inversió es pugui aconseguir un balanç neutre entre la demanda i la producció total. A més a més, es valorarà l'afectació de la variació de les diferents variables en el resultat a partir d'un anàlisi de sensibilitat. Per fer-ho, es dissenyarà un programa informàtic mitjançant el llenguatge Python, que permetrà realitzar diferents iteracions fins arribar a la solució òptima. Aquest programa es dissenyarà de manera que no sigui exclusiu per al sistema espanyol, sinó que pugui ser utilitzat per a analitzar qualsevol sistema energètic prou acotat.



## 2. Situació energètica actual al territori espanyol

### 2.1. Producció d'energia

Per tal de poder realitzar una previsió del que serà la situació energètica espanyola al 2040, caldrà primer de tot estudiar com està organitzat el sistema energètic del territori actualment. Per fer-ho, s'ha consultat la web oficial de la *Red Eléctrica Española* [1], d'on s'han pogut obtenir dades de com està distribuïda la generació d'energia del país, mes a mes i per un registre d'anys des del 2007 fins al 2018.

A continuació es pot observar com està distribuïda la generació d'energia segons la font de la que prové, per a l'any 2018 (veure figura 1):

Distribució energètica d'Espanya l'any 2018

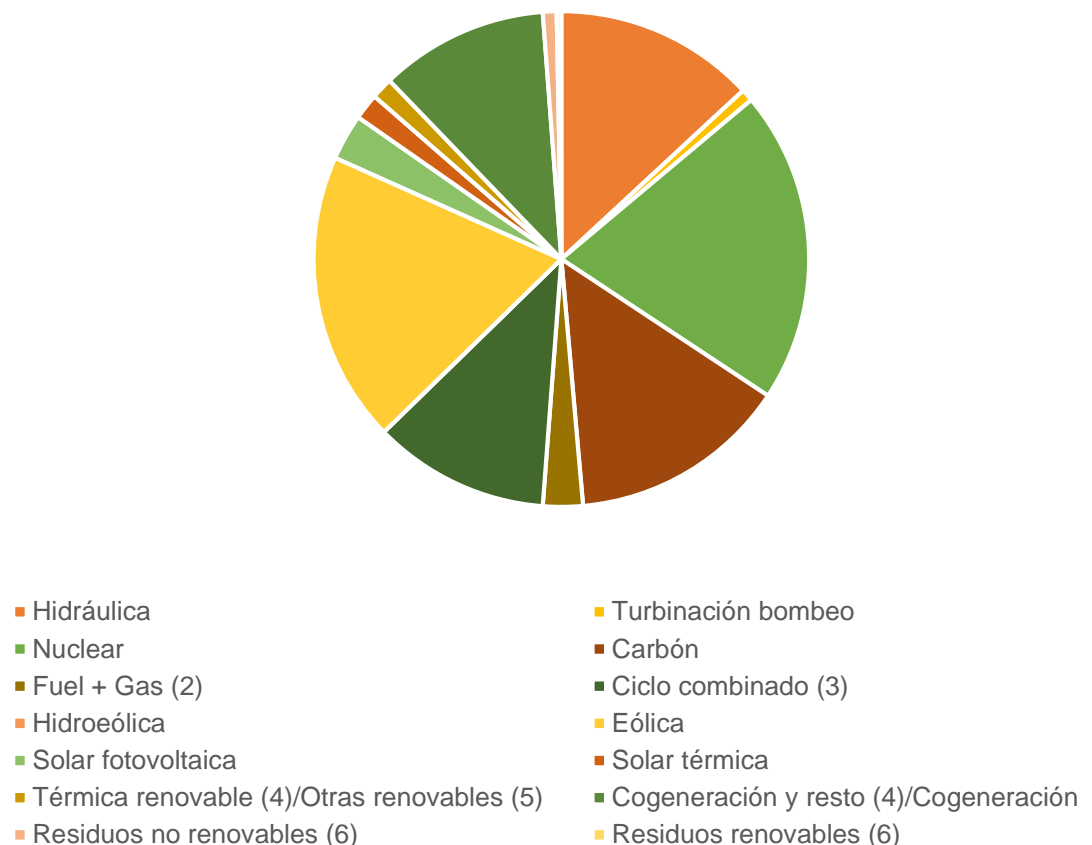


Figura 1 Distribució de generació d'energia a Espanya l'any 2018

Com es pot observar, el major pes de generació d'energia per a l'any 2018 a Espanya va ser en primer lloc, l'energia nuclear, amb un 20,4%, seguida de l'energia eòlica amb un 19 %.

Altres fonts d'energia amb un pes significatiu en la distribució espanyola són el carbó (14,3%), l'energia hidràulica (13,1%), les centrals de cicle combinat (11,5%) i les centrals de cogeneració (11%).

Partint de les dades analitzades, es pot afirmar que el 89,3% de l'energia espanyola prové de les fonts citades anteriorment, sent un 38,5% de fonts d'origen renovable i la resta, un 61,5%, d'origen no renovable.

Per tal d'observar com ha anat fluctuant el pes de la generació d'energia renovable, s'ha analitzat any per any quin ha sigut la contribució d'aquesta a la generació d'energia total (veure figura 2):

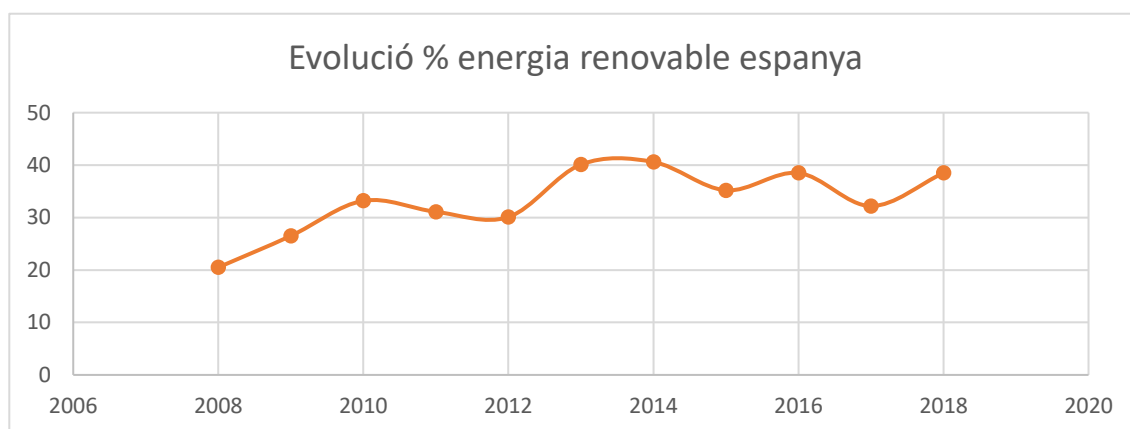


Figura 2 Evolució de la contribució de l'energia renovable a la generació

Com es pot veure a la figura 2, a partir de l'any 2007 la contribució d'energia renovable al total de la generació va augmentant progressivament fins l'any 2010, en el que pateix una lleugera baixada fins al 2012. Al 2012 les energies renovable tornen a augmentar la seva contribució, però a partir de l'any 2013 aquesta ha anat fluctuant entre el 35% i el 40% del mix de generació.

Per tal d'entendre com ha sigut aquesta evolució, s'han analitzat les diferents fonts d'energia renovable del país al llarg dels anys. Aquestes es mostren a continuació:

L'energia procedent del vent ha tingut una important contribució al mix de generació d'energia al territori espanyol, sent aproximadament la meitat de l'energia renovable que s'ha produït. La contribució d'aquesta font d'energia ha patit una forta crescuda fins l'any 2013, on es va començar a estabilitzar al voltant del 18% del mix total (veure figura 3):

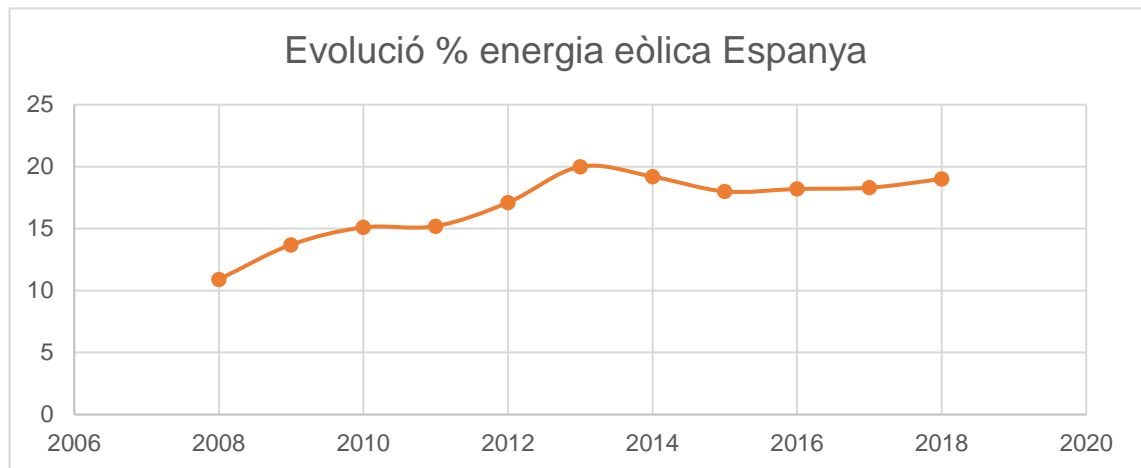


Figura 3 Evolució de la contribució de l'energia eòlica a la generació

Es podria dir el mateix pel que fa a l'energia solar tèrmica, que tot i que ha incrementat el seu valor significativament, aquest no és prou elevat com per considerar rellevant la seva aportació (veure figura 4):

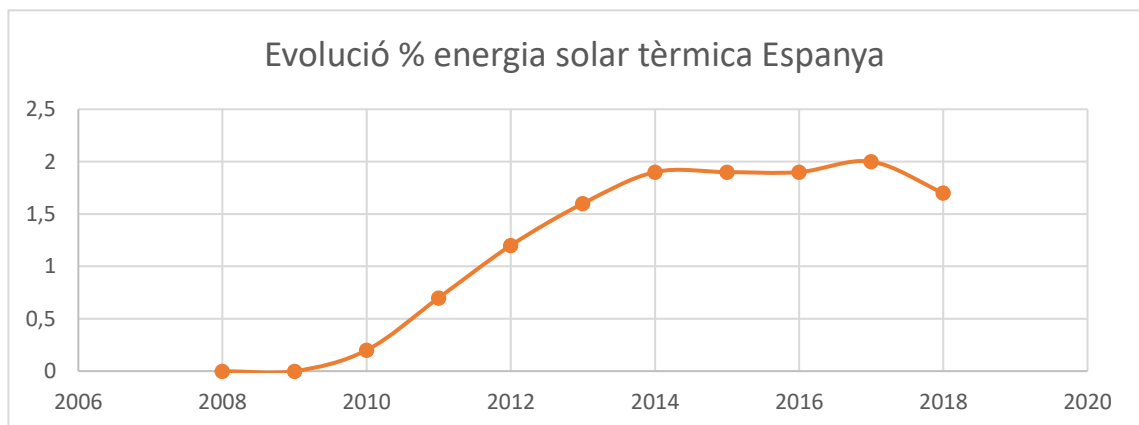


Figura 4 Evolució de la contribució de l'energia solar tèrmica a la generació

Per últim cal parlar sobre l'energia hidràulica, que ha anat fluctuant al llarg dels anys al voltant del 11% aproximadament de la contribució total de la generació d'energia. Per tant, es pot dir que la hidràulica, juntament amb la eòlica, són les fonts d'energia renovable més potents del país (veure figura 5):

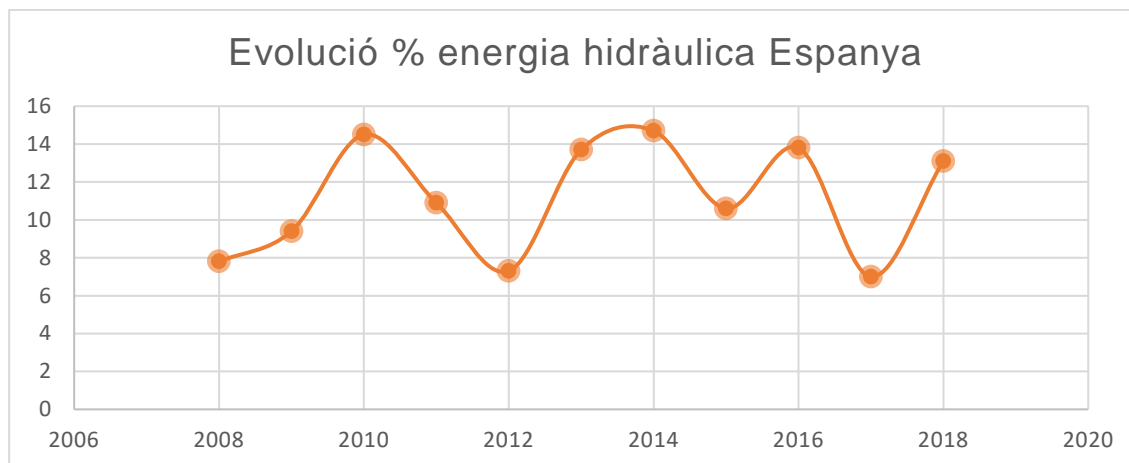


Figura 5 Evolució de la contribució de l'energia hidràulica a la generació

Una vegada s'ha analitzat la importància de les diferents fonts d'energia del país, s'ha observat quins són els valors absoluts d'aportació d'energia de cadascuna d'aquestes fonts, per tal de tenir un punt de partida per realitzar l'estudi de la situació energètica espanyola al 2040.

A través de la mateixa font des de la que s'ha obtingut quin és el mix energètic del país, la web de la *Red Eléctrica Española* [1], s'ha pogut obtenir un registre de quina ha sigut la generació d'energia mensual al llarg de l'any 2018, per tipus de recurs.

A continuació es poden trobar aquests valors de generació d'energia anual diferenciats per cada recurs del qual s'ha obtingut (veure taules 1 i 2):

FONT D'ENERGIA	Energia produïda (GWh)
<b>Hidràulica</b>	34097
<b>Turbinació bombeig</b>	2009
<b>Nuclear</b>	53198
<b>Carbó</b>	34882
<b>Cicle combinat</b>	26403
<b>Eòlica</b>	48902
<b>Solar fotovoltaica</b>	7363
<b>Solar tèrmica</b>	4424
<b>Altres renovables</b>	3546
<b>Cogeneració</b>	28975
<b>Residus no renovables</b>	2296
<b>Residus renovables</b>	733

Taula 1 Generació d'energia a Espanya l'any 2018 per tipus de recurs

FONT D'ENERGIA	Energia produïda (GWh)
Total generació	<b>246.827,0</b>
<b>Renovables (GWh)</b>	99.065
<b>No renovables (GWh)</b>	147.762
<b>Renovables (%)</b>	40,1
<b>No renovables (%)</b>	59,9
<b>Sense emissions CO2 (GWh)</b>	154.271,7
<b>Amb emissions CO2 (GWh)</b>	92.555,3
<b>Sense emissions CO2 (%)</b>	62,5
<b>Amb emissions CO2 (%)</b>	37,5

Taula 2 Generació d'energia a Espanya l'any 2018 per tipus de generació

En aquestes taules es pot observar com un 37,5% de l'energia que es va produir al territori espanyol l'any 2018 va generar emissions de CO<sub>2</sub>. Aquesta generació prové de les centrals de carbó, de fuel / gas, de cicle combinat i de residus no renovables.

Malgrat que aquestes energies citades són les principals generadores d'emissions de diòxid de carboni, és important també tenir en compte que hi ha altres energies, que a priori no es consideren generadores de CO<sub>2</sub>, que també n'emeten de manera indirecta, encara que en una proporció molt reduïda. Un exemple seria el cas de l'energia nuclear, que segons un estudi de la Universitat Nacional de Singapur [2], el rang d'emissions que genera la producció d'aquest tipus d'energia varia entre 1,4g y 288g de CO<sub>2</sub>/kWh, segons l'estudi de la petjada de carboni que es realitzi. El valor que solen tenir la majoria de centrals nuclears és aproximadament de 66g de CO<sub>2</sub>/kWh, valor que es troba per sobre del que tenen les centrals d'energia renovable però molt inferior al valor de les centrals que sí que es consideren generadores de diòxid de carboni.

Per tant, el 62,5% de l'energia produïda a l'any 2018 ha sigut de la que es considera lliure de

CO<sub>2</sub> degut a que aquestes emissions són menyspreables. Aquesta percentatge té procedència de les centrals hidràuliques, de turbinat – bombeig, nuclear, eòlica, solar fotovoltaica, solar tèrmica, altres renovables i residus renovables.

Degut a que la situació en la que ens trobarem en el territori espanyol l'any 2040, com s'explicarà en l'apartat següent, demana que les emissions de CO<sub>2</sub> siguin nul·les o mínimes, en el estudi que es realitzarà a continuació només es podrà comptar amb les últimes fonts citades.

Per tant, caldrà veure com poder aconseguir que aquest 62,5% augmenti el màxim possible, tot tenint en compte, fent una previsió, quina serà la demanda energètica en l'any 2040.

Pel que fa a les emissions de CO<sub>2</sub> [3], aquestes han patit una creixuda significant al llarg dels anys, havent crescut un 7% al 2017, respecte el 2016, amb un valor de 282.364 kilotones. Caldria tenir en compte que amb la crisi aquestes emissions de CO<sub>2</sub> van reduir el seu valor, però una vegada finalitzada, les emissions de diòxid de carboni van tornar a repuntar.

Aquestes emissions, analitzades per persona, són de 6,09 tones de diòxid de carboni per cada habitant del territori, valor que ha augmentat respecte l'any anterior, però que es manté inferior als nivells que s'havien arribat en els anys previs al 2011.

D'altra banda, si s'analitzen aquests valors segons el PIB, es pot veure que per cada 1000\$ de PIB es van generar al 2017 0,18kg de diòxid de carboni. Aquest valor ha augmentat lleugerament respecte l'any 2016, però segueix sent inferior als valors que s'havien tingut en els anys anteriors.

A continuació es pot observar com han anat variant aquests 3 ítems comentats anteriorment (veure figures 6, 7 i 8):

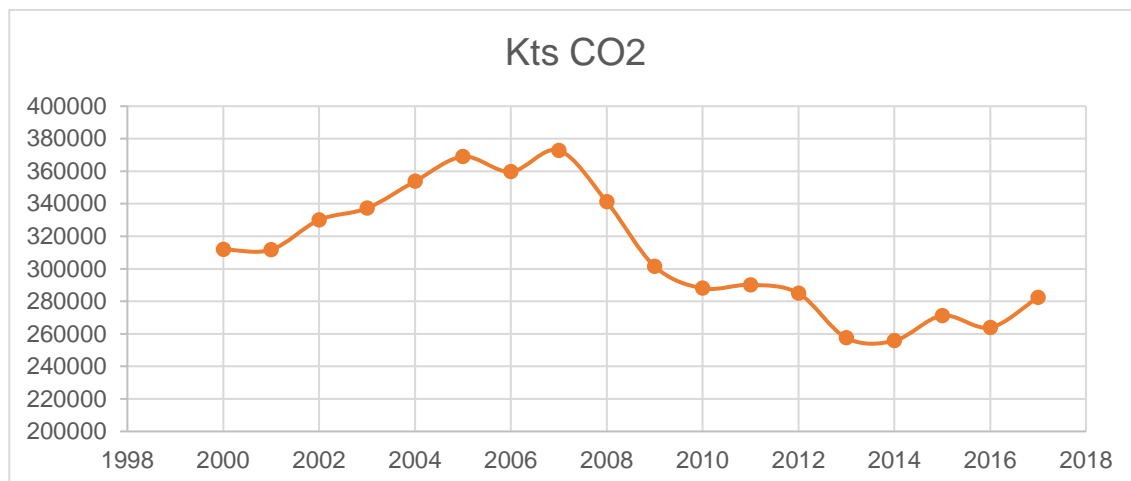


Figura 6 Evolució de la producció de CO2 a Espanya

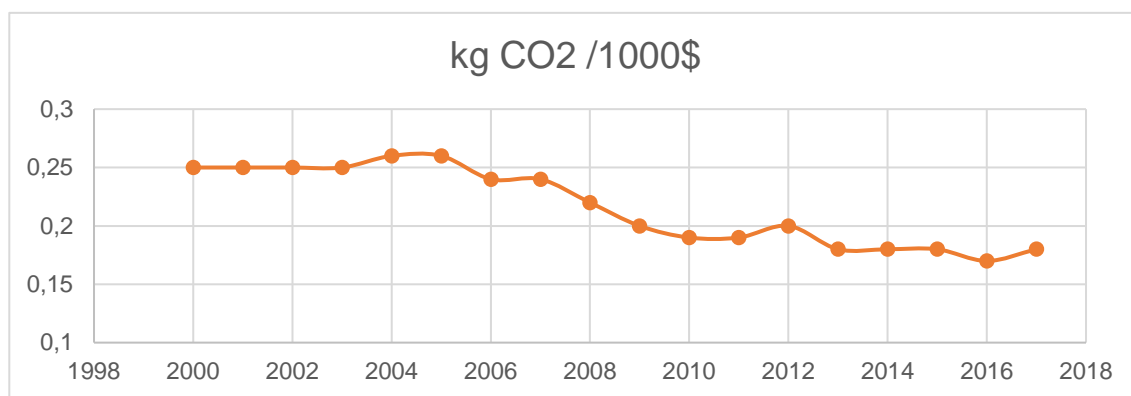


Figura 7 Evolució de la producció de CO2 per 1000\$ de PIB a Espanya

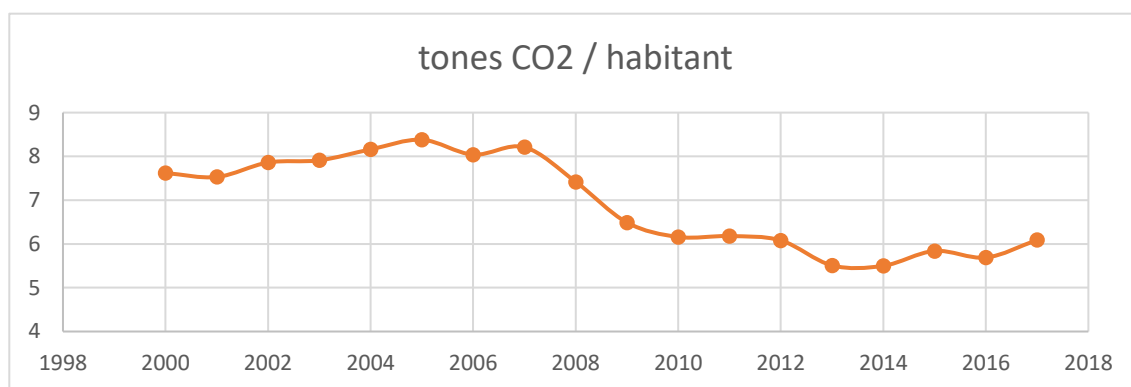


Figura 8 Evolució de la producció de CO2 per habitant a Espanya



Com s'ha comentat, la generació de diòxid de carboni al territori espanyol va ser superior als valors que es tenen actualment, començant a disminuir a partir de l'any 2007 on es va patir un significatiu descens del seu valor. Aquest valor s'ha anat mantenint fins a l'actualitat.

Es podria pensar que un dels motius d'aquesta disminució ve provocada per una sensibilització de la societat pel que fa l'entorn, a partir d'una optimització dels processos industrials, així com d'altres activitats humanes que provoquen una generació d'aquest cas causant de l'efecte hivernacle i del canvi climàtic.

### **2.1.1. Centrals de generació elèctrica d'Espanya**

Per últim, i per tal de tenir un anàlisi complet de quina és la situació energètica al territori espanyol actual, caldrà analitzar quines són les principals centrals de generació d'energia renovable que estan funcionant actualment. D'aquesta manera, es podran prendre aquestes centrals com exemple a l'hora de crear un sistema menys perjudicial per a l'entorn en el futur. Ens centrarem en els tres tipus de centrals que s'han comentat anteriorment: les eòliques i les hidràuliques, ja que com s'ha vist són les que proporcionen més energia al mix del país i també les solars fotovoltaïques, ja que aquestes es basen en una tecnologia que cada vegada es troba més desenvolupada.

#### **Centrals eòliques**

Pel que fa a l'energia d'origen eòlic, l'energia produïda al territori espanyol l'any 2018 va ser de 48902 GWh, sent aquesta la segona font d'energia amb més generació del país.

La distribució d'aquesta font d'energia a les diferents comunitats autònomes per l'any 2017 va ser el següent (veure taula 3):

Eòlica (MW)		Eòlica (MW)	
<b>Astúries</b>	518	<b>Madrid</b>	0
<b>Cantabria</b>	35	<b>Melilla</b>	0
<b>Castella Lleó</b>	5591	<b>Balears</b>	4
<b>País Basc</b>	153	<b>Navarra</b>	995
<b>La Rioja</b>	448	<b>Murcia</b>	263
<b>Castella la manxa</b>	3847	<b>C. Valenciana</b>	1205
<b>Galícia</b>	3343	<b>Aragó</b>	1924
<b>Catalunya</b>	1269	<b>Canàries</b>	207
<b>Andalusia</b>	3327	<b>Ceuta</b>	0
<b>Extremadura</b>	0		

Taula 3 Distribució energia eòlica per comunitats autònomes

Com es pot observar a la taula, les tres comunitats autònomes amb una major potència eòlica instal·lada són Castella i Lleó, Castella - la Manxa, Galícia i Andalusia. Catalunya es troba en cinquena posició, amb una potència instal·lada de 1269 MW, un 5,5% del total instal·lat a Espanya.

Segons la web *Renovables Verdes* [4], el parc eòlic amb una potència instal·lada major a Espanya es troba a Huelva, al sud de la província andalusa. Aquest està format per una total de 8 parcs eòlics: Majal Alto (50 MW), Los Lirios (48 MW), El Saucito (30 MW), El Centenar (40 MW), La Tallisca (40 MW), La Retuerta (38 MW), Las Cabezas (18 MW) y Valdefuentes (28 MW). Tot el conjunt de parcs eòlics sumen un total de 292 MW, gairebé un 50% del total instal·lat a la comunitat autònoma.

Amb aquesta quantitat d'energia generada es permet evitar aproximadament una emissió de 510000 tones de CO<sub>2</sub>, i permet abastir unes 140000 llars.

### Centrals hidràuliques

D'altra banda, pel que fa a les centrals que produeixen energia a partir de l'aigua, les centrals hidràuliques, van produir un total de 34097 GWh en el territori espanyol al llarg de l'any 2018. Observant aquest valor es pot dir que aquesta va ser la quarta font que més energia elèctrica va permetre produir al país en aquell any.

De la mateixa manera que s'ha fet per a les centrals eòliques, es mostra a continuació una taula on es presenta la potència d'energia hidràulica identificada per comunitat autònoma en l'any 2017 (veure taula 4):

Hidràulica (MW)		Hidràulica (MW)	
<b>Astúries</b>	805	Madrid	109
<b>Cantabria</b>	99	Melilla	0
<b>Castella Lleó</b>	4401	Balears	0
<b>País Basc</b>	171	Navarra	255
<b>La Rioja</b>	52	Murcia	34
<b>Castella la manxa</b>	650	C. Valenciana	640
<b>Galícia</b>	3702	Aragó	1334
<b>Catalunya</b>	1913	Canàries	2
<b>Andalusia</b>	590	Ceuta	0
<b>Extremadura</b>	2278		

Taula 4 Distribució energia hidràulica per comunitats autònomes

Com es pot observar a la taula, les tres comunitats autònomes amb més potència hidràulica instal·lada són: Castella i Lleó, Galícia i Extremadura. Pel que fa a Catalunya, aquesta es troba en quarta posició, per tant, en una millor posició en relació als altres tipus d'energia que en el cas de l'eòlica, amb un percentatge en relació a la potència instal·lada total d'energia

hidràulica en el territori del 11,2%.

A partir de la web *Renovables Verdes* [5], la central hidràulica amb més importància en el territori espanyol, pel que fa a la seva potència instal·lada, es troba a Aldeadávila, a Castellà i Lleó. Aquesta està formada per dues centrals hidroelèctriques, Aldeadávila I i Aldeadávila II. La primera va ser posada en marxa l'any 1962 i té una potència instal·lada de 810 MW, mentre que la segona es va posar en marxa l'any 1986 i disposa d'una potència instal·lada de 433 MW. La producció mitjana anual de tota la central hidràulica és de 2400 GWh.

### **Centrals solars fotovoltaïques**

Per últim, es tractaran les centrals solars fotovoltaïques, és a dir, aquelles que produeixen energia elèctrica a partir de la llum solar. Aquest tipus de centrals van produir un total de 7363 GWh en el territori espanyol al llarg de l'any 2018.

Per tal de seguir amb la forma d'estudi que s'ha realitzat per les centrals eòliques i les hidràuliques, es mostrarà a continuació la taula de com es va repartir la potència instal·lada d'aquest tipus d'energia per a l'any 2017 a Espanya (veure taula 5):

Solar fotovoltaica (MW)		Solar fotovoltaica (MW)	
<b>Astúries</b>	1	<b>Madrid</b>	64
<b>Cantabria</b>	2	<b>Melilla</b>	0
<b>Castella lleó</b>	495	<b>Balears</b>	80
<b>País Basc</b>	27	<b>Navarra</b>	161
<b>La Rioja</b>	86	<b>Murcia</b>	437
<b>Castella la manxa</b>	925	<b>C. Valenciana</b>	349
<b>Galicia</b>	17	<b>Aragó</b>	169
<b>Catalunya</b>	267	<b>Canàries</b>	167
<b>Andalusia</b>	879	<b>Ceuta</b>	0
<b>Extremadura</b>	564		

Taula 5 Distribució energia solar fotovoltaica per comunitats autònomes

Pel que es pot observar a la taula, les tres comunitats amb una potència solar fotovoltaica instal·lada més significativa per a l'any 2017 van ser Castella la manxa, Andalusia i Extremadura. Catalunya es va quedar en setena posició, força més endarrerida que en els casos de l'energia eòlica i hidràulica. Aquesta va suposar una contribució del 5,7% en referència al total instal·lat d'aquest tipus d'energia.

## 2.2. Consum d'energia

Una vegada analitzada la situació actual del territori espanyol pel que fa a la producció d'energia, es procedirà a l'anàlisi del consum d'aquesta, per tal de observar si ens trobem en una situació de dèficit o d'excés d'energia, i si són necessàries les importacions o exportacions amb altres països actualment. Tenint aquesta situació inicial ens serà més senzill conèixer en quina situació ens podem trobar en un futur amb les noves polítiques que es preveu introduir i que s'introduiran en el següent apartat.

Primerament, a partir de dades de la *Red Eléctrica Española* [1], s'analitzarà la variació de la demanda al dels anys 2016, 2017 i 2018 (veure figures 9, 10 i 11):



Figura 9 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2016

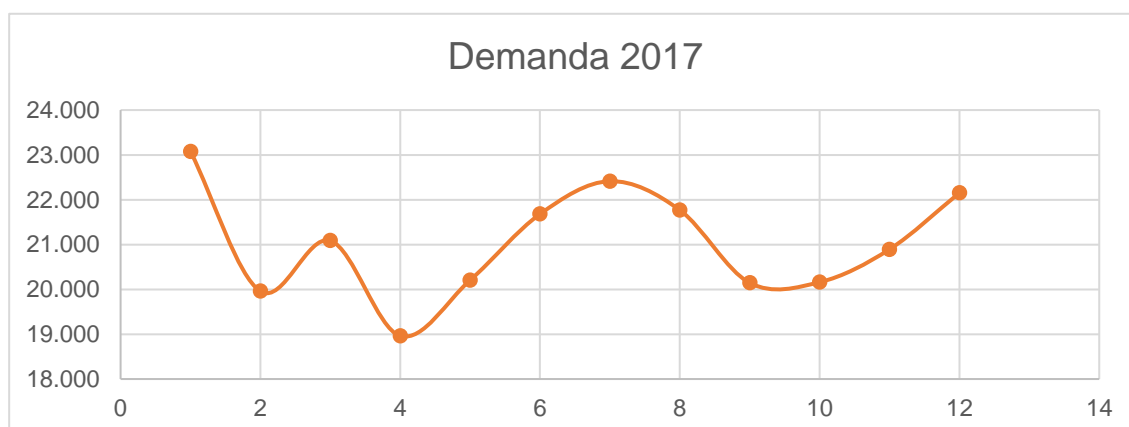


Figura 10 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2017

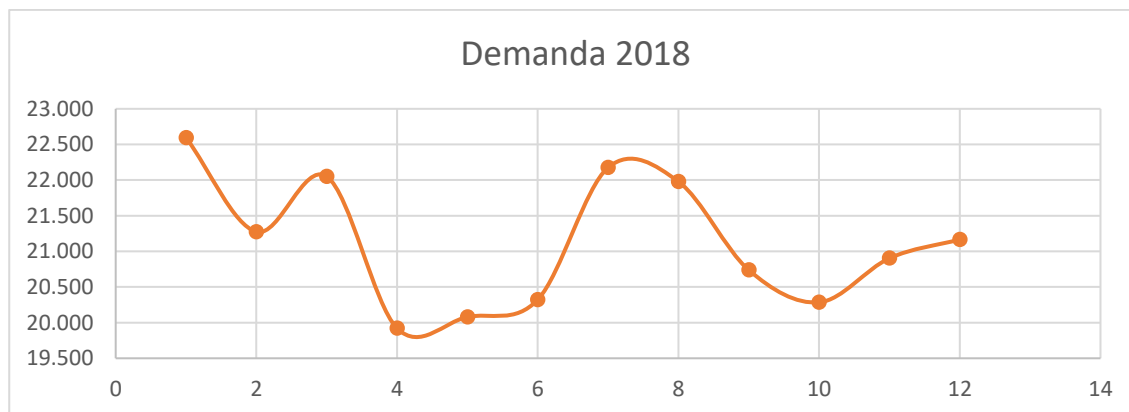


Figura 11 Evolució de la demanda energètica total espanyola l'any 2018

Com es pot observar, en el registre dels últims tres anys de la demanda a Espanya trobem que hi ha una important fluctuació per al llarg de les diferents estacions de l'any. Encara que l'evolució té algunes diferències per als tres anys que s'estan analitzant, es pot observar algun tret comú en els gràfics, com per exemple l'augment de la demanda en els mesos d'estiu i en els mesos d'hivern, i la baixada de demanda en els mesos que corresponen a la primavera i a la tardor.

Aquestes diferències es deuen a que amb unes temperatures més radicals, tant a l'alça en l'hivern com a la baixa a l'estiu, l'ús d'aparells de climatització fan augmentar fortament el consum. D'altra banda, les temperatures moderades per als mesos pertanyents a la primavera i a la tardor, permeten prescindir d'aquests aparells de climatització.

Un cop observada aquesta variable de variació, es pot determinar que per l'estudi a realitzar caldrà analitzar un període de temps que contempli tot l'any, degut a que aquesta variable no es manté constant.

Una altra alternativa, segons la facilitat d'obtenir les dades necessàries per obtenir resultats, seria la d'analitzar el període de temps que sigui més crític en termes de demanda. Per tant, observant els períodes de més fred o de més calor per un any, s'obtindrà la situació més crítica del territori espanyol, i d'aquesta manera es podrà obtenir un dimensionament més conservador de les centrals generadores d'energies per una situació futura en el territori espanyol.

Seguint amb l'anàlisi de les gràfiques obtingudes, el valor mitjà de les dades va ser de 20807

GWh al 2016, de 21042 GWh al 2017 i de 21125 GWh al 2018. Malgrat que s'observa una tendència al creixement entre aquests valors, la variació entre el valor mitjà del 2016 i el del 2018 resulta ser solament un 1,51%, per tant es pot dir que no hi ha hagut un creixement significatiu en els últims tres anys de la demanda d'energia.

La variació entre els valors mínims i màxims de les mitjanes mensuals per cada any ha sigut de 2511 GWh al 2016, 4115 GWh al 2017 i 2674 GWh al 2018. Com es pot comprovar, la variació va ser significativa l'any 2017, en el que es va tenir un valor mínim de 18963 GWh a l'abril i un valor màxim de 23078 GWh al gener. Com s'ha comentat anteriorment, el mes de demanda mínima correspon a una estació de l'any amb temperatura moderada, a la primavera, i el més amb major demanda correspon a una època de l'any on les temperatures són més extremes, com és el cas del mes de gener.

Una vegada realitzat aquest anàlisi a escala anual, s'ha passat a analitzar les situacions més crítiques de demanda per al territori espanyol.

Per fer-ho, s'ha estudiat mes a mes quin ha sigut el dia i la hora en el que la demanda va ser major i, per tal de veure si la potència instal·lada ha pogut abastir aquesta demanda, s'ha estudiat també quina ha sigut la màxima potència que s'ha pogut obtenir de la instal·lada, per a cada mes (veure figura 12).

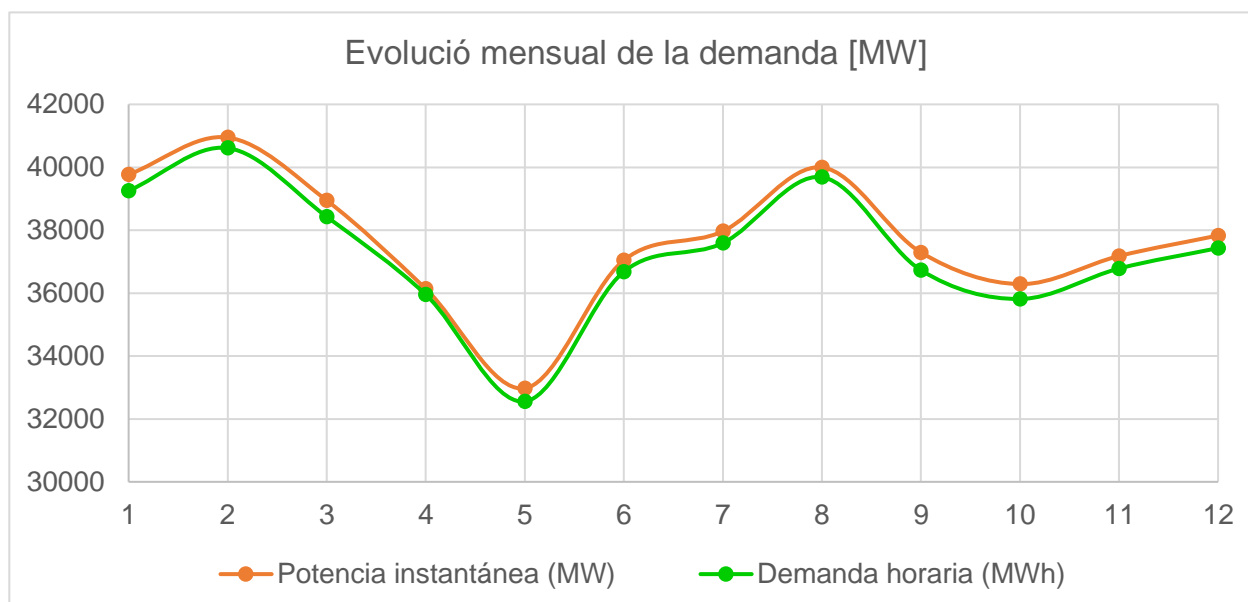


Figura 12 Evolució de la demanda i de la producció màxima mensuals l'any 2018



Com es pot observar, per a l'any 2018, tots els valors pics mensuals de demanda han pogut suplir-se amb la potència instal·lada en el territori.

El valor màxim de demanda ha sigut de 40611 MWh el dia 8 de febrer de 2018 a les 21h de la nit . Per tant, podem dir que el mes amb una demanda pic més important d'energia en el territori és el mes de febrer.

Si s'observa quina és l'hora del dia en el que el consum és major, es pot observar el següent (veure figura 13):

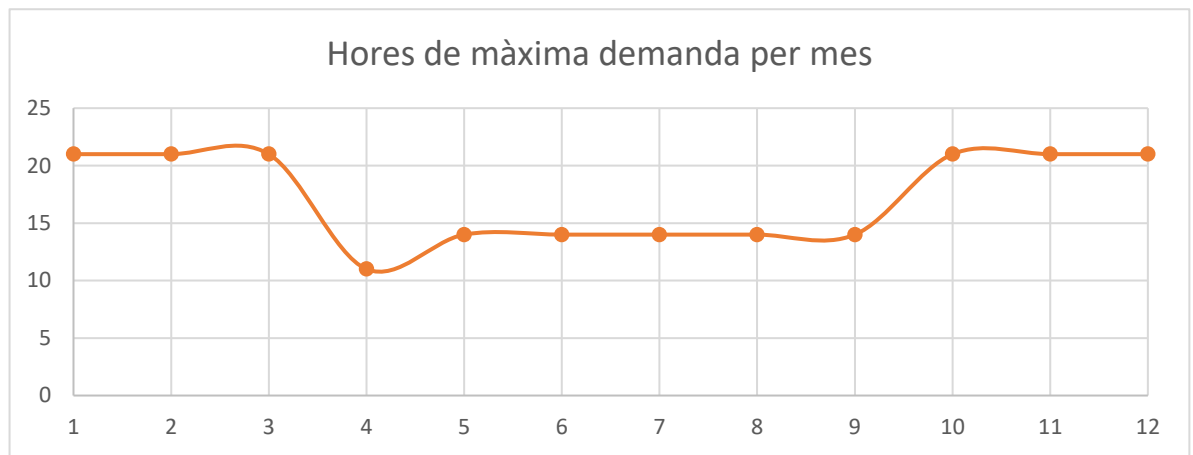


Figura 13 Hores de màxima demanda per mes

En els mesos d'hivern, les hores on la demanda assoleix uns valors més alts són a última hora de la nit, quan les temperatures són més baixes, mentre que als mesos d'estiu, aquests valors màxims s'assoleixen al migdia, moment del dia en que les temperatures són més altes i es fa ús del climatitzador.

Com es pot observar, existeix una clara relació entre la temperatura de l'entorn i el consum d'energia que es realitza. També té influència que aquestes hores siguin aquelles en les que les persones es troben treballant o a casa, però realitzant activitats, ja que durant les hores de descans a la matinada el consum no és màxim malgrat la temperatura a l'hivern si que és més crítica.

El fet de que existeixin hores punta de demanda provoca que sigui més complicat suplir aquesta demanda amb la potència que es té instal·lada en el territori. És per això que durant aquestes hores caldrà que treballin les centrals que produeixen energia d'una forma més costosa, econòmicament parlant, que resultarà que són també les que més CO<sub>2</sub> emeten.

A més a més dels inconvenient que això suposa, caldrà també realitzar un dimensionat del sistema per poder atendre les hores punta, encara que aquestes siguin un part reduïda del total d'hores diàries.

Segons la *Red Eléctrica Española* [6], es calcula que aproximadament uns 4000 MW, el que és equivalent a 10 centrals de cicle combinat de 400 MW o a 4 centrals nuclears de 1000 MW, és el que es necessita per atendre un total d'unes 300 hores puntes, que és el que es produeix anualment.

Com s'ha comentat, les hores nocturnes són les hores vall, que són aquelles en les que hi ha una menor activitat en els diferents sectors. L'única demanda important en aquestes hores serà la del sector industrial en el que la producció es realitza durant les 24 hores del dia. Això suposa un punt a favor per a les grans empreses, ja que durant les hores vall l'energia té un valor econòmic inferior.

D'altra banda, caldrà tenir en compte també que les energies renovables són variables durant el dia, com ho és la demanda, i per tant caldrà que el nostre estudi es realitzi hora a hora per comprovar quina coordinació existeix entre les hores pic i vall de demanda i de generació amb renovables.

En el gràfic següent es mostra l'afectació de la indústria, dels serveis i dels habitatges en el consum energètic durant les diferents hores del dia (veure figura 14).

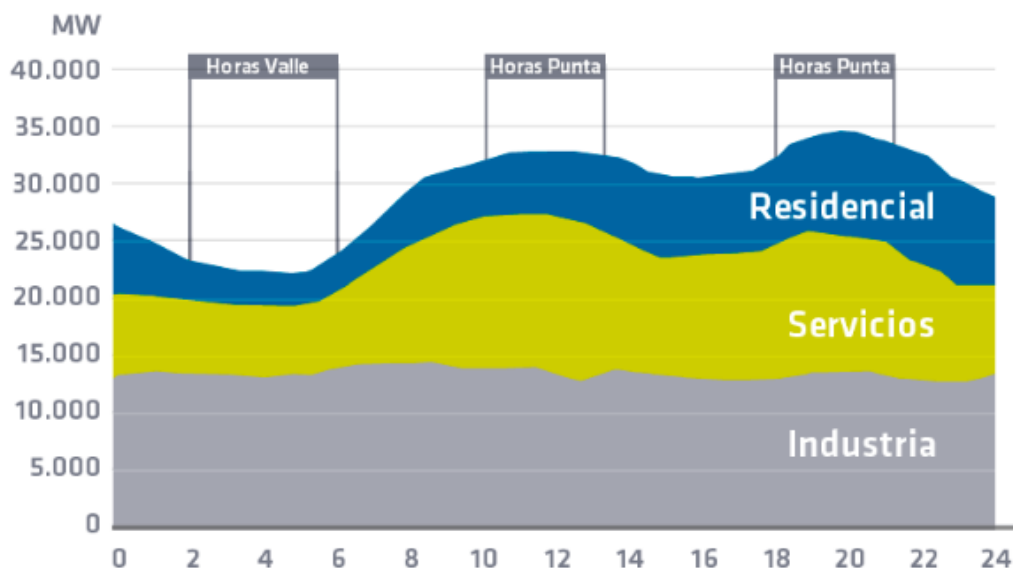


Figura 14 Distribució de la demanda al llarg del dia

## 2.3. Importacions i exportacions d'energia

Per tal de tenir un funcionament eficaç del sistema elèctric d'un país, és imprescindible que les connexions internacionals siguin prou fortes com per suplir moments de dèficit o d'excés d'energia que no es poden equilibrar dins les fronteres.

El fet de tenir una capacitat més forta d'intercanvi elèctric permet al país apostar més per les energies renovables, ja que aquestes no poden assegurar la producció en qualsevol moment del dia o de l'any, i resulta molt interessant que es puguin recolzar dels recursos energètics d'altres països.

En el cas del sistema elèctric europeu, aquestes connexions són les que el converteixen en el sistema més robust i segur del món. Per als països perifèrics, com és el cas d'Espanya, les connexions comentades resulten encara més importants per tal de desenvolupar un sistema elèctric adequat que garanteixi les necessitats de subministrament, en termes de quantitat i qualitat, tant presents com futures.

A continuació es realitza una enumeració de les avantatges que suposa tenir interconnexió de les infraestructures elèctriques entre països:

- Permet tenir més seguretat de subministrament, facilitant les funcions de recolzament entre sistemes veïns. Les interconnexions són el recolzament instantani més significatiu pel que fa a la seguretat de subministrament.
- Aporten una estabilitat major i garantia de la freqüència en els sistemes interconnectats.
- Proporcionen un major aprofitament de les energies renovables.
- Faciliten els intercanvis comercials d'energia, fet que permet aprofitar les diferències de preus de l'energia entre els diferents països. El Mercat Interior de l'Electricitat (MIE) busca integrar el conjunt de mercats existents avui en dia a la Unió Europea.

Amb la capacitat que queda vacant a les línies elèctriques i que no va destinada a assegurar el subministrament, es realitzen a diari intercanvis internacionals per tal d'aprofitar les diferències de preus de la energia entre els diferents sistemes elèctrics interconnectats.

Aquests intercanvis permeten que la generació d'electricitat es realitzi amb les tecnologies més eficients i que els flux d'energia vagi des d'on aquesta és més econòmica fins on resulta

més cara.

La capacitat comercial, en termes de potència, dona idea de la capacitat d'intercanvi entre els diferents sistemes i representa la combinació de la limitació entre els operadors dels dos sistemes.

En la figura següent (veure figura 15), obtinguda a partir de la web de la *Red Eléctrica Española* [7], es poden observar els valors de capacitat d'intercanvi comercial en termes energètics (MW) del territori espanyol amb els seus països veïns, en el període comprés entre el 20 d'abril del 2019 fins al 3 de maig de 2019:

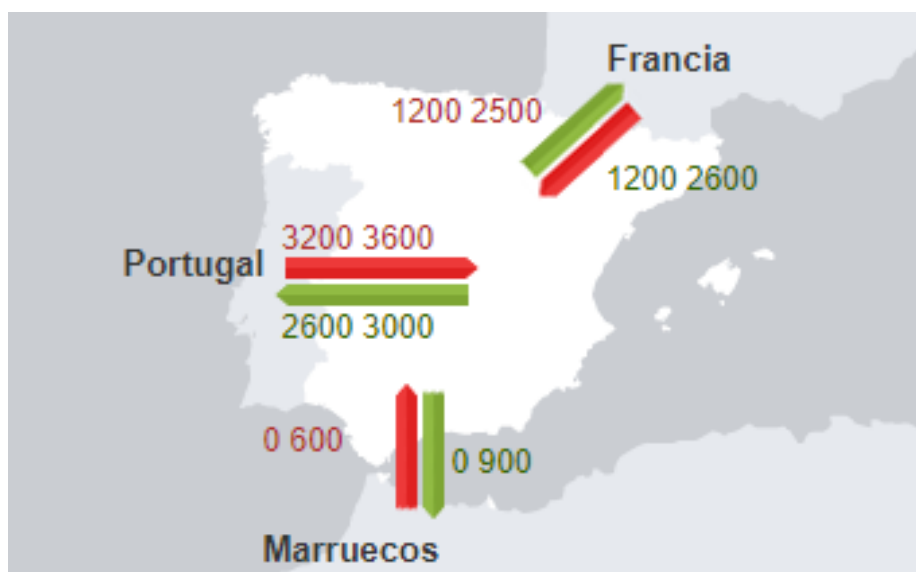


Figura 15 Capacitat d'intercanvi comercial d'Espanya (MW)

En aquesta imatge, el valor situat a l'esquerra representa la capacitat comercial mínima des del país d'on surt la fletxa fins al país on arriba, mentre que el valor situat a la dreta fa referència al valor màxim.

Per poder tenir una visió global del que s'ha acabat exportant, en termes d'energia elèctrica, d'Espanya als seus països veïns (França, Portugal, Andorra i Marroc) i del que s'ha importat des d'aquests països fins a Espanya, s'han obtingut aquests valors anuals des del 2014 fins al 2018. Aquestes dades, en GWh, es poden observar a la taula següent (veure taula 6):

	<b>França</b>	<b>Portugal</b>	<b>Andorra</b>	<b>Marroc</b>	<b>Total</b>
<b>2014</b>	3.567	-903	-235	-5.836	<b>-3.406</b>
<b>2015</b>	7.324	-2.266	-264	-4.927	<b>-133</b>
<b>2016</b>	7.802	5.086	-278	-4.951	<b>7.658</b>
<b>2017</b>	12.465	2.685	-233	-5.748	<b>9.169</b>
<b>2018</b>	12.047	2.655	-210	-3.389	<b>11.102</b>

Taula 6 Importacions i exportacions espanyoles anuals (GWh)

Cal tenir en compte que quan aquestes dades prenen un valor positiu representen que s'ha importat energia, mentre que quan tenen un valor negatiu significa que s'ha exportat.

Per tant, es pot observar que als anys 2014 i 2015, el balanç global espanyol va ser d'exportació d'energia elèctrica, sobretot per la forta exportació al Marroc, mentre que als anys següents, 2016, 2017 i 2018, el balanç va ser d'importació, degut a la gran quantitat d'energia que es va importar a França i en part també a Portugal.

## 3. Problemàtica

### 3.1. Vehicle elèctric

En l'escenari actual del territori espanyol, la majoria de vehicles que circulen són de combustió, és a dir, disposen de motors dièsel i gasolina, i en menor proporció, híbrids. Pel que s'ha estat anunciant [8], l'estat espanyol incentivarà certes mesures per tal de reduir les emissions de CO<sub>2</sub> de cara a 2040, entre les quals es trobarà la prohibició de la matriculació de qualsevol vehicle que no sigui de tipus elèctric. El fet d'implementar aquesta mesura ve de l'esborrany de la Llei de canvi climàtic i de transició energètica, presentada pel govern espanyol.

El fet de prohibir la matriculació de vehicles que emetin CO<sub>2</sub> al territori a partir de l'any 2040 podrà permetre que de cara al 2050 la circulació de vehicles es consideri lliure d'emissions.

La implementació d'aquestes mesures no serà radical, ja que caldrà que la població i les empreses automobilístiques es vagin adaptant poc a poc a la nova situació futura en la que es trobaran. Els passos que s'aniran seguint per tal d'aconseguir aquest canvi de mentalitat són:

1. **2023:** Es restringirà l'entrada de vehicles considerats com a contaminants a municipis que tinguin més de 50.000 habitants, en els quals només podran circular els que obtinguin la seva energia motriu de fonts que es considerin com a energies "netes".
2. **2025:** Tots els edificis de nova construcció estaran obligats a comptar amb la qualificació energètica màxima, per tal de millorar la seva eficiència energètica.
3. **2030:** S'haurà d'aconseguir que en aquest any la producció d'energia elèctrica provingui de font renovables, en un 70%, i es tindrà l'objectiu d'haver reduït les emissions de CO<sub>2</sub> un 20% respecte el valor actual.
4. **2040:** Com s'ha comentat, en aquest moment es prohibirà la matriculació de turismes i furgonetes que siguin emissores de CO<sub>2</sub>, per tal de donar pas als vehicles elèctrics, lliures d'aquestes emissions.
5. **2050:** Es preveu que degut a la mesura de l'any 2040 tots els vehicles que circulin en el territori en aquest moment hauran de ser vehicles elèctrics. A més a més, s'intentarà que al 2050 el 100% de generació elèctrica haurà de ser d'origen renovable i s'hauran d'haver reduït les emissions de gasos d'efecte hivernacle al 90%.

A continuació es poden observar les previsions comentades (veure figura 16):

2023	2025	2030	2040	2050
Los <b>municipios</b> de más de 50.000 habitantes deberán contar con <b>zonas de bajas emisiones</b>	Las <b>edificaciones nuevas</b> deberán ajustarse a los requisitos de <b>máxima calificación energética de edificaciones</b>	<b>Reducción de las emisiones</b> de gases de efecto invernadero en <b>al menos un 20%</b> con respecto a 1990  <b>El 70% de la generación eléctrica</b> deberá ser de origen <b>renovable</b>	<b>Prohibición de matriculación y venta</b> de turismos y furgonetas con emisiones de CO <sub>2</sub>  <b>Fin de las prórrogas</b> para actividades de fracking y extracción hidrocarburos	<b>Objetivo de evitar la circulación</b> de turismos y furgonetas con emisiones de CO <sub>2</sub>  <b>El 100% de la generación de eléctrica</b> deberá ser de origen <b>renovable</b>  <b>Reducir las emisiones un 90%</b> con respecto a 1990

@elperiodico / @EPGraficos 

Figura 16 Implicacions de la nova normativa climàtica [9]

Aquestes mesures tenen certes implicacions i conseqüències de cara a les gasolineres, a les empreses automobilístiques i als conductors del territori, que veuran com la situació en la que es troben haurà de canviar radicalment al llarg dels anys.

Pel que fa a les gasolineres a curt termini, aquestes caldrà que s'adaptin per tal de poder carregar vehicles elèctrics. La normativa indica que aquelles que estiguin venent més de cinc milions de litres de combustible, estaran obligades a instal·lar punts de recarrega per a cotxes elèctrics. A més a més, a llarg termini, caldrà que totes es vagin adaptant per poder substituir la venda de combustible per la venda d'energia elèctrica.

Aquesta normativa suposa, entre d'altres, dues limitacions o reptes tecnològics importants: la capacitat de fabricar vehicles elèctrics i la capacitat de generar prou energia com per alimentar-los.

Pel que fa als vehicles elèctrics, cal dir que aquests cada vegada més s'estan impulsant a les empreses automobilístiques per tal de substituir els de combustió, però sí que és cert que avui en dia l'entorn en el que vivim no es troba suficientment preparat com per substituir-los en la seva totalitat. És per aquest motiu, que l'estat i les empreses hauran de

treballar per adaptar-se a aquest futur proper en el que només es podrà comptar amb el vehicle elèctric.

Com bé s'ha comentat, el primer punt a favor dels vehicles elèctrics i el motiu pel qual s'ha decidit apostar per aquesta tecnologia és el fet de que són respectuosos amb el medi ambient, ja que poden obtenir l'energia amb la que funcionen de forma renovable. Sí que és cert que la idea principal de treballar amb els vehicles elèctrics és que l'energia elèctrica que s'obtingui provingui en la seva majoria des d'una font renovable, ja que en cas que l'energia motriu s'obtingués generant diòxid de carboni i altres gasos que poden afectar a la salut de les persones (CO + NOX), es perdria l'avantatge d'evitar la combustió en el motor i, en conseqüència, l'emissió de gasos contaminants.

Un altre punt fort dels vehicles elèctrics és que aquests no generen tant soroll com en el cas dels vehicles de combustió, fet que millorarà la qualitat de vida a les grans ciutats on s'acumula molt de transit.

En termes econòmics, aquests vehicles també poden tenir punts positius ja que al ser més senzills en la seva estructura mecànica, són menys propensos a patir averies per fatiga de les peces que el componen, paguen menys impostos que un vehicle de combustió i surten més rentables pel que fa al consum d'energia. A més a més, el cicle de funcionament d'aquests motors té un rendiment més elevat que els dels vehicles de combustió, aproximadament d'un 90% (al qual s'hauria d'afegir el rendiment de les centrals elèctriques de les quals prové l'energia que els alimenta) respecte un 25%, que seria el rendiment màxim d'un motor de cicle Otto.

A continuació s'observa una imatge esquemàtica del mecanisme d'un motor elèctric (vehicle de la dreta) enfront del que seria el mecanisme d'un motor de combustió (vehicle de l'esquerra), en el que es pot observar com l'estructura del mecanisme elèctric és molt més senzilla (veure figura 17):





Figura 17 Estructura vehicle combustió respecte a vehicle elèctric

Per altra banda, cal remarcar que la tecnologia que envolta el vehicle elèctric es troba en fase de desenvolupament, ja que aquesta presenta certs inconvenients que caldrà millorar per tal de que sigui prou fiable com per substituir la seva tecnologia antecessora.

El primer desavantatge és el fet de que aquests vehicles disposen de poca autonomia en comparació amb els vehicles híbrids i els de combustió, ja que aquests s'han de carregar amb una freqüència molt més elevada. Per altra banda, el temps de càrrega és molt superior al dels vehicles de combustió, pel que es pot dir que actualment no es poden considerar vehicles per recórrer grans distàncies i, en cas que el seu ús fos aquests, s'hauria de tenir molt clara la planificació del viatge per tal d'assegurar que el cotxe es podria suplir d'energia en tot el recorregut.

Un altre punt feble de la tecnologia és la baixa extensió de punts de recarrega al territori espanyol, ja que tot i que cada vegada es poden trobar més zones on carregar el vehicle elèctric, aquest país és un dels que en té menys de la unió europea, amb trams on pot arribar a ser complicat trobar-ne algun.

Per últim, cal tenir en compte el fet de que treballin a partir de bateries. Aquestes estan compostes d'elements amb preus elevats, fet que fa incrementar el preu de venda dels vehicles elèctrics i el preu de canvi d'aquesta en el cas que tingués algun tipus d'averia, ja que solen tenir una vida útil inferior a la que estan oferint actualment als vehicles de

combustió. Per tant, és molt probable que en algun moment del seu ús aquesta s'hagi de canviar.

La segona implicació significativa que es generarà la introducció d'aquesta normativa, i que es la que tindrà un paper principal en aquest projecte, és el fet d'incrementar la demanda d'energia elèctrica en el territori. Degut a que es deixaran de consumir combustibles per tal de moure els vehicles, i tota aquesta energia que s'obtenia passarà a ser demandada com energia elèctrica, caldrà veure si el territori serà capaç de fer front a aquesta situació amb els recursos que es tindran en un futur seguint les instruccions de la normativa en la seva totalitat, o caldrà dimensionar alguna central nuclear o de cicle combinat per tal d'obtenir una situació més conservadora.

### **3.2. Centrals nuclears i de carbó**

Per altra banda, s'ha estat anunciant a la premsa [10] la iniciativa del govern de tancar les centrals nuclears del territori. Aquest acció podria suposar un gran problema energètic, degut a la gran aportació d'energia que hi estan realitzant actualment, que com bé s'ha comentat a l'apartat anterior d'aquest projecte, representa un 20,4% del total d'energia elèctrica proporcionada a Espanya sent la font que genera una quantitat més elevada d'electricitat.

El tancament d'aquestes centrals nuclears es faria de forma escalonada, entre el 2025 i el 2035, començant pel reactor Almaraz al 2027 i finalitzant pel reactor Trillo al 2035. L'ordre de tancament de les centrals nuclears vindrà determinat per l'edat dels reactor. Aquests es començaran a tancar a partir dels 40 anys d'antiguitat.

El territori espanyol compta actualment amb 7 reactors que es troben en funcionament. En la següent imatge es pot observar quin serà l'ordre de tancament de cadascun d'aquests (veure figura 18):

## El apagón nuclear

Central	Emplazamiento	Empresa propietaria	% de participación	Potencia eléctrica (MW)	Inicio operación comercial	Cierre definitivo de la planta
<b>Almaraz I</b>	<b>Almaraz</b> (Cáceres)	Iberdrola	53,0	1.049,2	Sep. 1983	2027
		Endesa	36,0			
		Naturgy	11,0			
<b>Almaraz II</b>	<b>Almaraz</b> (Cáceres)	Iberdrola	53,0	1.051,8	Jul. 1984	2028
		Endesa	36,0			
		Naturgy	11,0			
<b>Ascó I</b>	<b>Ascó</b> (Tarragona)	Endesa	100,0	1.032,5	Dic. 1984	2029
<b>Ascó II</b>	<b>Ascó</b> (Tarragona)	Endesa	85,0	1.027,2	Mar. 1986	2030
		Iberdrola	15,0			
<b>Cofrentes</b>	<b>Cofrentes</b> (Valencia)	Iberdrola	100,0	1.092,0	Mar. 1985	2033
<b>Vandellós II</b>	<b>Vandellós y L'Hospitalet del Infant</b> (Tarragona)	Endesa	72,0	1.087,1	Mar. 1988	2034
		Iberdrola	28,0			
<b>Trillo</b>	<b>Trillo</b> (Guadalajara)	Iberdrola	48,0	1.066,0	Ago. 1988	2035
		Naturgy	34,5			
		EDP	15,5			
		Nuclenor	2,0			

Todas las centrales son de agua a presión (PWR), excepto Cofrentes que es de agua en ebullición (BWR).

Fuente: elaboración propia

A. MERA VIGLIA / CINCO DÍAS

Figura 18 Previsió de tancament de les centrals nuclears a Espanya [10]

Com es pot observar segons aquesta previsió, a l'any 2035 al territori espanyol s'han perdut 7405,8 MW de potència elèctrica instal·lada.

Per tant, en el projecte caldrà tenir en compte també aquesta política, degut a la qual es deixarà de disposar de l'energia nuclear, per tal de poder dimensionar el sistema energètic espanyol tenint en compte l'increment de demanda que suposarà el fet de només tenir vehicles elèctrics.

Pel que fa a l'energia de procedència del carbó, aquesta està en debat de si s'eliminarà, de la mateixa manera que es farà amb les centrals nuclears. Aquesta política d'eliminació, segons la web Energia 16 [11], té origen a inicis de l'any 2018 de la mà de la Comissió nacional de mercats i de la competència (CNMC). Per tal de realitzar una previsió conservadora de la situació al 2040, en l'anàlisi que es realitzarà es prescindirà també d'aquestes.

## 4. Metodologia d'anàlisi

A continuació s'explicarà quin ha sigut el procediment seguit per tal d'obtenir quina serà la situació energètica final. S'ha decidit establir una simulació en la qual els valors d'entrada seran una previsió dels valors futurs que es tindran en la situació que es vol analitzar.

L'estructura bàsica d'aquest programa es pot observar al diagrama següent (veure figura 19):

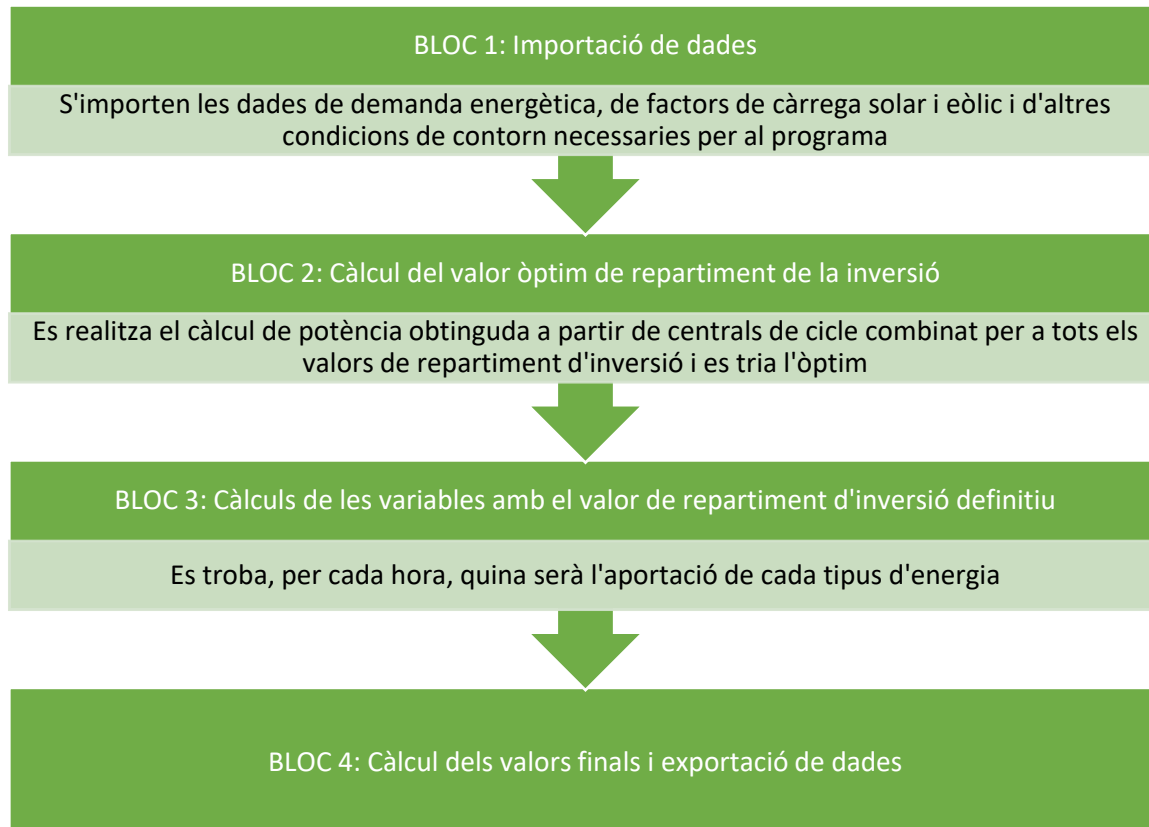


Figura 19 Esquema de funcionament del programa

El procediment d'aquesta programació consta primer de tot en definir quina serà la potència total que es podrà produir amb els recursos dels quals disposa el territori a estudiar, és a dir, amb l'energia provinent de l'aire i del sol del territori, a partir dels factors de càrrega de les centrals eòliques i les instal·lacions solars fotovoltaïques. Aquestes dues potències es distribuïran òptimament segons els costos d'instal·lació de cada recurs i les inversions que realitzi la societat del territori. A aquestes s'hi afegirà la producció provinent d'energia hidràulica i nuclear, que es consideraran constants. Per aquesta programació s'ha decidit no

comptar amb l'energia procedent de centrals de carbó, que malgrat no considerar-se en un futur, servien per definir la situació actual, ja que s'ha decidit comptar amb un únic tipus d'energia generadora d'emissions de diòxid de carboni, el gas natural, per tal de simplificar.

Una vegada s'hagi obtingut el total d'energia que es produeix, es compararà amb el que es necessita segons la demanda, i es valorarà si el territori es troba en situació de dèficit o d'excés d'energia produïda.

En el primer cas, és a dir, quan s'hagi produït menys energia de la necessària es passarà a obtenir l'energia que falta de centrals hidràuliques reversibles i, en el cas que aquesta sigui insuficient, s'obtindrà energia dimensionant centrals de cicle combinat (aquestes produiran CO<sub>2</sub>) per tal de mantenir la autosuficiència energètica del país.

En el segon cas, quan s'hagi produït un excés d'energia respecte el que es demanava, l'aigua es bombejarà en centrals hidroelèctriques reversibles per tal d'emmagatzemar energia per quan sigui necessària, i en el cas que ja no se'n pugui bombejar més perquè els embasaments es troben plens, l'energia sobrant s'exportarà.

El codi utilitzat s'ha treballat a través del programa Spyder, ja que és una plataforma lliure, senzilla d'utilitzar i permet la codificació amb el llenguatge Python. Aquest està estructurat de la següent manera:

Primer de tot s'importen les llibreries necessàries per executar les diferents funcions que implica la programació realitzada.

Tot seguit, s'ha definit quines seran les variables fixes, aquelles que no canviaran al llarg de l'execució del programa. S'ha decidit definir-les d'aquesta forma per poder-les tenir ben identificades a l'hora de realitzar els càlculs pertinents. Aquestes variables s'introduiran al programa a través d'un arxiu de dades "data.dat"

A continuació es definirà cada una de les variables a partir dels valors de la matriu "data".

Aquestes variables, de les quals s'explicarà el seu significat a continuació, sumen un total de 14 valors:

- **nuclear** [kW per capita]: variable que determinarà quina és la potencia generada a través d'energia nuclear per habitant al territori d'estudi. Degut a que l'escenari del 2040 per al territori espanyol implica prescindir d'aquest tipus d'energies, caldrà

tenir en compte que aquest valor haurà de ser 0 si es decideix complir amb aquesta normativa totalment, o donar-li un cert valor si es decideix mantenir alguna central de tipus nuclear.

- **hydro** [kW]: variable que determinarà la potència generada amb recursos hidràulics del territori a analitzar en les simulacions que es facin en el programa.
- **Ppumpmax** [kW]: variable que determinarà la potència màxima de les bombes que permeten el bombeig d'energia hidràulica, per tal d'absorbir el restant entre la producció i la demanda en un espai de temps concret, i d'aquesta manera poder aprofitar-la en el moment que sigui necessari.
- **Pturbmax** [kW]: variable que determinarà la potència màxima de les turbines que permetran aprofitar aquest sobrant d'energia produïda per les fonts renovables, entre la producció i la demanda, en un espai de temps concret.
- **Estoragemax** [kWh]: variable que determinarà el volum d'aigua màxim en pantans en centrals hidroelèctriques del que disposa el territori a estudiar, en termes d'energia, ja que d'aquesta manera es permetrà estudiar el flux amb l'alçada del salt conjuntament. Aquest volum d'aigua servirà per convertir l'energia renovable que s'hagi produït en un espai de temps en el que la demanda no ha sigut suficientment elevada com per poder absorbir tota la producció, en energia potencial elevat tot aquest volum a una altura determinada a partir de bombeig i d'una presa d'aigua. Serà molt interessant valorar la importància d'aquesta variable, i aconseguir-ne un valor prou elevat, ja que d'aquesta manera el rendiment de les energies renovables es veurà beneficiat.
- **Estorageaverage** [kWh]: variable que determinarà el volum mitjà ocupat als pantans de centrals hidroelèctriques, també en termes d'energia.
- **costsolar** [euros per kW]: variable que determinarà el preu per unitat d'energia, en kW, que suposa instal·lar una instal·lació solar fotovoltaica al territori.
- **costwind** [euros per kW]: variable que determinarà el preu per unitat d'energia, en kW, que suposa instal·lar una central eòlica al territori.
- **Pinstcombcycle** [kW]: potència instal·lada en centrals de cicle combinat actualment al territori.
- **Pinstsolar** [kW]: potència instal·lada en centrals solars fotovoltaiques actualment al territori.
- **Pinstwind** [kW]: potència instal·lada en centrals eòliques actualment al territori.

- **population** [habitants]: variable que determinarà el total de la població que consumirà energia en el territori d'estudi en l'espai de temps concret en que s'apliqui la valoració.
- **investment** [€ per habitant]: variable que determinarà la inversió que haurà de realitzar cadascun dels habitants dins dels límits del territori per aconseguir instal·lar la potència necessària a través de les energies eòlica i solar fotovoltaica.
- **CO2factor** [kgCO<sub>2</sub>/kWhcombcycle]: variable que determinarà quants kg de CO<sub>2</sub> s'obtidran per kWh generat en centrals de cicle combinat en el període d'estudi.

El pas següent que segueix el programa definit es basa en importar la matriu on es troba introduïda la demanda energètica de la població i, en base la dimensió d'aquesta, s'inicialitzen les dades variables:

- **dim**: defineix la longitud del vector *Pdemand*, que és en el que s'hauran introduït prèviament a l'execució del programa les dades de demanda de la població. Aquest vector és útil per definir totes les variables que hauran de tenir les mateixes dimensions que la demanda.
- **Pwind**: fa referencia a la potencia generada òptima que s'obtindrà a partir de l'energia del vent, per a cada valor de demanda.
- **Psolar**: fa referencia a la potencia òptima que s'obtindrà a partir de l'energia solar, per a cada valor de demanda.
- **Pnuclear**: defineix l'energia nuclear generada per totalitat dels habitants del territori, amb un valor constant independent de la demanda que s'estigui produint en aquell espai de temps. La dimensió d'aquest vector també correspon a la dimensió de la demanda, encara que amb un valor constant.
- **Phydro**: defineix l'energia hidràulica generada per totalitat de superfície del territori, amb un valor constant independent de la demanda que s'estigui produint en aquell espai de temps. La dimensió d'aquest vector també correspon a la dimensió de la demanda, encara que amb un valor constant.
- **Ppump**: vector que servirà per definir la potència de bombeig que s'haurà de tenir per a cada una de les situacions establertes a la matriu de dades de demanda. En el cas que es produeixi un sobrant d'energia, aquest valor serà positiu.



- **Pturbine:** vector que servirà per definir la potència de turbinat que s'haurà de tenir per a cada una de les situacions establertes a la matriu de dades de demanda. En el cas que hi hagi un dèficit d'energia, aquest valor serà positiu.
- **Pgen:** aquest vector servirà per definir el total d'energia generada amb les condicions climàtiques del territori (energia solar i eòlica) i amb les potències hidràuliques i nuclears instal·lades.
- **Pdif:** aquest valor calcularà la diferència entre la potència total generada, calculada en el vector *Pgen*, i la potència que demanda la població del territori.
- **Pexport:** vector que servirà per definir quin serà el volum de potència que s'exportarà, una vegada s'ha consumit una part per suplir la demanda i, a continuació, s'han omplert tots els volums de reserves per emmagatzemar l'energia sobrant. En altres paraules, en cas que la demanda estigui coberta i les reserves estiguin plenes, es podrà procedir a l'exportació d'energia.
- **Pcombcycle:** vector que servirà per definir quin serà el volum de potència que s'haurà d'obtenir a partir de centrals de cicle combinat, una vegada s'han buidat els pantans per obtenir energia i s'ha calculat tot el que permet produir el territori a partir de les diferents fonts, per tal de suplir la totalitat de la demanda.
- **Estorageaverage:** defineix el volum d'emmagatzematge d'energia produïda sobrant en forma d'energia potencial d'aigua de preses. S'inicia amb un valor concret i constant per a totes les situacions de demanda introduïdes a la matriu "*demand.dat*".
- **Prenewfinal:** defineix el total de potència que s'obtindrà a partir d'energies renovables, al llarg de tots els períodes de temps contemplats en l'anàlisi.
- **Gasenergy:** vector que definirà per a cada situació possible de proporció d'inversió entre solar i eòlica, quina és l'energia que caldrà obtenir a partir de centrals de cicle combinat.

Una vegada es tenen totes les variables inicialitzades, es poden començar a realitzar els càlculs per determinar la proporció d'energia solar i de vent que farà que s'optimitzin els costos, per a la situació de demanda descrita. Per tal de tenir una idea de quina serà l'estructura d'aquest bloc, es pot observar el diagrama següent (veure figura 20):



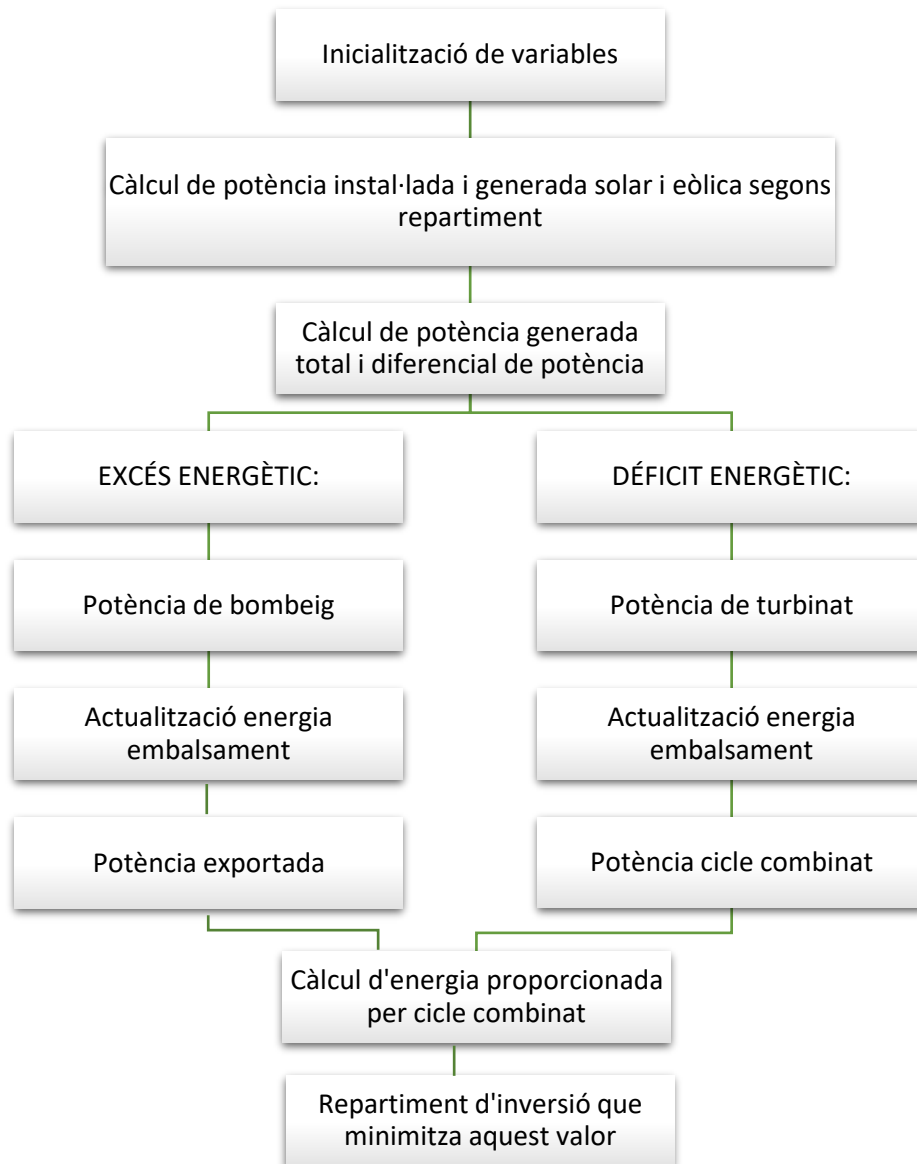


Figura 20 Esquema de funcionament del programa

Els passos que se segueixen són els següents:

1. Es realitza una importació de les dades meteorològiques de la zona, que es troben introduïdes en la matriu "*meteo.dat*". Aquestes es troben distribuïdes en dues columnes: la primera fa referència al factor de càrrega de l'energia solar i la segona al factor de càrrega de la potència eòlica, és a dir, a la relació entre les potències generades i la instal·lades en la zona d'estudi. Els períodes de temps que es troben en aquesta matriu van lligats als de la matriu on es troben les dades de demanda, és a dir, cada fila fa referència a la mateixa franja temporal.

2. Es realitza una iteració en bucle. Aquest bucle farà córrer la variable “*i*” des del valor 0 fins al 100. Aquesta variable “*i*” fa referència a la proporció entre energia solar i energia eòlica. Un valor d’aquesta variable igual a 0 significa que tot el que es genera és energia procedent del sol, mentre que un valor de la mateixa igual a 100 significa que tot el que es pot obtenir a partir d’aquests dos tipus de fonts d’energia renovables serà de tipus eòlic.
3. Una vegada dins del bucle, s’inicialitzaran de nou les variables que s’hauran calculat per tal de trobar el valor òptim. D’aquesta manera, es podran reomplir aquests vectors amb les dades de la situació definitiva que s’estudiarà.
4. Un cop inicialitzats aquests vectors, s’ha tornat a crear un bucle en el que farem passar la variable “*e*” des de 0 fins al valor de la variable “*dim*” que, com s’ha comentat anteriorment, feia referència a la dimensió del vector que s’havia importat i que incloïa els diferents valors de demanda d’estudi per a les franges de temps contemplades. En altres paraules, s’anirà analitzant cada franja de temps individualment i s’aniran acumulant els valors en diferents vectors, segons correspongui.
5. Una vegada s’ha entrat en el segon bucle, s’ha calculat per cada valor de demanda la potència que s’obtindrà del recurs solar, realitzant un càlcul primer de la potència instal·lada total que es tindrà després d’afegir el que s’hagi pogut construir amb la inversió realitzada i, a continuació, aplicant-hi el factor de càrrega per a aquella franja de temps per tal de conèixer el que realment es podrà produir:

$$Pinstsolar_{total} = Pinstsolar + \frac{\frac{100 - i}{100} \cdot investment \cdot population}{costsolar}$$

$$Psolar = Pinstsolar_{total} \cdot factorsolar$$

6. Un cop realitzat aquest càlcul, s’ha seguit amb el càlcul de la potència que s’obtindrà del vent, amb la mateixa metodologia aplicada que en el cas de la potència solar:

$$Pinstwind_{total} = Pinstsolar + \frac{\frac{i}{100} \cdot investment \cdot population}{costwind}$$

$$P_{wind} = P_{instwindtotal} \cdot \text{factoreolic}$$

7. En el moment en que s'han definit les potències obtingudes del recursos del vent i solar, es calcularà el paràmetre "*P<sub>gen</sub>*", que correspondrà a la suma de totes les potències generades en el nostre sistema, tant les variables (solar i eòlica), com les fixades en les dades que s'inicien al principi del programa (hidràulica i nuclear):

$$P_{gen} = P_{wind} + P_{solar} + P_{wind} + P_{hydro}$$

8. Tot seguit es calcularà el sobrant entre la potència generada i la demanda, amb la variable "*P<sub>dif</sub>*":

$$P_{dif} = P_{gen} - P_{demand}$$

9. Una vegada s'han obtingut aquests valors, es calcularà quina quantitat d'energia es pot obtenir a partir de l'energia hidràulica emmagatzemada en els pantans, en cas que ens trobem en dèficit d'energia (*P<sub>dif</sub>* < 0) o quina quantitat d'energia es pot proporcionar a aquests pantans, en cas que ens trobem en situació d'excés d'energia (*P<sub>dif</sub>* > 0). Aquests càlculs s'afegiran o es restaran a la potència hidràulica, de tal manera que la potència generada total i la diferencia de potència entre la generada i la demanda variaran respecte els valors calculats en el punt anterior. A continuació s'explica com funciona aquesta part del programa:

Per cada espai de temps definit a la demanda el programa comprovarà si ens trobem en situació d'excés o en situació de defecte d'energia produïda enfront la demandada.

En el cas en que ens trobem en situació d'excés d'energia, es calcularà la potència que s'haurà de bombejar, que serà el mínim entre el valor de la potència diferencial referent a l'espai de temps en el que estiguem treballant i la potència de bombeig màxima:

$$P_{pump} = \min(\text{abs}(P_{dif}), P_{pumpmax})$$

Tot seguit, es calcula el nou volum d'energia a l'aigua emmagatzemada en les centrals hidràuliques reversibles, afegint al que ja teníem del que s'havia calculat en l'espai de temps anterior la potència que de bombeig que s'haurà calculat per a l'espai de temps actual:

$$newEstorage = Estorageaverage[espai de temps anterior] + P_{pump}[actual] \cdot 1h$$

A continuació es calcularà el nou valor de la potència de bombeig, sent aquesta la part proporcional de la potència que s'havia calculat anteriorment segons la relació entre el que s'ha emmagatzemat d'aigua en el moment d'anàlisi realment, respecte el que es podria emmagatzemar si no s'hagués tingut en compte el màxim d'energia que es pot emmagatzemar en les centrals reversibles.

$$P_{pump}[actual] = P_{pump}[actual] \cdot \frac{\min(Estoragemax, newEstorage) - Estorageaverage[espai de temps anterior]}{newEstorage - Estorageaverage[espai de temps anterior]}$$

Seguidament es torna a realitzar el càlcul de l'energia que s'emmagatzema, realitzant la comparativa entre el que s'ha calculat en la iteració actual i el màxim permès.

$$Estorageaverage = \min(newEstorage, Estoragemax)$$

A partir d'aquest valor ja es pot calcular el que s'haurà d'exportar, ja que no es pot consumir entre els límits del territori a estudiar ni es pot emmagatzemar, degut al fet que no hi ha suficient volum disponible per desar-hi l'aigua.

$$P_{export} = P_{dif} - P_{pump}$$

S'actualitza el valor de la demanda de potència afegint-li la part de potència que s'emmagatzemarà bombejant aigua:

$$P_{demanda} = P_{demand} + P_{pump}$$

En el cas que ens trobem en situació de defecte entre el que es demana de potència i el que es pot produir, es definiran les variables anteriors de la manera següent:

La potència de la turbina serà el mínim entre el valor absolut de la potència diferencial (potència sobrant entre la produïda i la demanda) en l'espai de temps en el que s'està treballant i la potència màxima que pot oferir la turbina:

$$P_{turbine} = \min(abs(P_{dif}), P_{turbmax})$$

El valor d'energia que s'haurà emmagatzemat a les centrals reversibles fins al moment serà el valor d'energia que ja es tenia emmagatzemat a la iteració anterior afegint-li el dèficit d'energia entre la demanda i la producció (aquest prendrà un valor negatiu) en la iteració que representa l'espai de temps actual.

$$newEstorage = Estorageaverage[espai de temps anterior] + P_{dif}[actual] \cdot 1h$$

El punt següent serà calcular de nou la potència de la turbina, de la mateixa manera que es feia amb la potència de bombeig. Aquesta serà la part proporcional de la potència que s'havia calculat anteriorment segons la relació entre el que s'ha turbinat d'aigua per tal d'obtenir energia en el moment d'anàlisi realment, respecte la diferencia real entre el que es tenia emmagatzemat d'aigua en forma d'energia i el que es tindrà en la iteració actual.

$$\begin{aligned} & P_{turbine}[actual] \\ &= P_{turbine}[actual] \\ & \cdot \frac{Estorageaverage[espai de temps anterior] - \max(0, newEstorage)}{Estorageaverage[espai de temps anterior] - newEstorage} \end{aligned}$$

Seguidament s'haurà de calcular el valor d'energia de l'aigua emmagatzemada per a l'espai de temps en el que s'està treballant actualment, igualant-lo valor de la variable "*newEstorage*" si aquesta és un valor positiu, i a 0 si aquesta pren un valor negatiu, per tal de truncar-lo.

$$Estorageaverage = \max(newEstorage, 0)$$

A continuació, s'igualarà el valor de la potència de bombeig a 0, ja que al haver-hi dèficit d'energia entre la producció i la demanda, l'aigua emmagatzemada com a bateries es turbinarà per obtenir-ne energia i no se'n bombejarà.

En el cas de que la producció no pugui suplir la demanda, és a dir, que ens trobem en situació de dèficit energètic, suplirem el que ens falti, després de passar per les centrals reversibles, amb centrals de cicle combinat. És el mateix concepte que s'ha treballat amb la exportació del sobrant en el punt anterior, però d'aquesta manera, en comptes d treballar amb importació d'energia, garantim que el territori sigui autosuficient energèticament parlant.

En aquest punt es calcularà el valor de la variable *Pcombcycle*, que serà la potència diferencial canviada de signe (ja que aquesta potència diferencial prendrà un valor negatiu al trobar-nos en dèficit) afegint-li el valor de la potència de la turbina canviant-li també el signe (aquesta prendrà un valor positiu, que al canviar de signe farà que es resti al valor del dèficit de producció de potència). Amb aquests càlculs el que s'obtindrà és la part de potència que no s'ha pogut subministrar ni amb la potència instal·lada ni amb la potència capaç d'oferir la turbina.

$$Pcombcycle = -Pdif - Pturbine$$

El darrer càlcul que es realitzarà per obtenir totes les variables definides serà trobar el total del valor de la potència hidràulica, que correspondrà a la suma de la potència hidràulica que s'havia calculat amb la variable fixa definida a l'inici de la programació afegint-li la potència obtinguda a través de turbina, amb l'aigua que s'havia emmagatzemat per a situacions de dèficit d'energia.

$$P_{hydro} = P_{hydro} + P_{turbine}$$

10. Una vegada s'hauran actualitzats els valors de potència hidràulica a partir del que s'ha obtingut o proporcionat a partir del bombeig, es tornarà a calcular la potència generada i el diferencial entre la generada i la demandada:

$$P_{gen} = P_{nuclear} + P_{solar} + P_{wind} + P_{hydro}$$

$$P_{dif} = P_{gen} - P_{demand}$$

11. Es calcularà la variable a optimitzar, que serà el total d'energia que s'haurà d'obtenir a partir de centrals de cicle combinat al llarg de l'espai de temps que s'estudiarà per a cada valor de la variable que fa referència a la proporció d'inversió en energia eòlica respecte la solar. En el cas que ens trobem en situació de dèficit, és a dir, amb un valor de  $P_{dif}$  negatiu es realitzarà el càlcul:

$$gasenergy = gasenergy + P_{dif}$$

12. L'últim pas per trobar quin és el percentatge més òptim de distribució entre solar i eòlica és buscar quin és el valor més alt del vector on s'ha anat emmagatzemant el total d'energia que s'haurà de proporcionar amb centrals de cicle combinat per a cada situació de repartiment de la inversió possible. D'aquesta manera ens acabarem quedant en la situació en que l'energia que s'haurà de proporcionar a partir del cicle combinat serà mínima (al ser valors negatius es buscarà el màxim).

En aquest punt del programa ja es té definida quina serà la proporció d'energia solar i d'energia eòlica que caldrà tenir instal·lada per tal de poder suplir la demanda de la forma més òptima possible, que serà la que ens proporcioni un sobrant d'energia superior en la situació més crítica de les estudiades en la demanda.

Partint d'aquest valor i d'aquesta repartició, es pot passar a calcular quin serà el volum màxim d'aigua, en termes d'energia, que es podrà emmagatzemar per aconseguir retenir el sobrant d'energia produïda respecte la demanda en una sobre altura, per tal de ser usada quan sigui necessari. En cas que la demanda sigui deficitària, es calcularà si aquest dèficit es pot suplir amb l'energia que es troba emmagatzemada en les centrals hidràuliques reversibles, en aquell instant de temps.

La manera de procedir serà entrar en cada un dels valors de la demanda en cada espai de temps per poder realitzar els següents càlculs:

1. Es realitzarà de nou el càlcul del potència instal·lada solar fotovoltaica i eòlica en el territori, amb el valor òptim de la variable “best” obtingut, i per a cada valor de demanda es calcularà quina és la potència generada multiplicant aquests valors pels factors de càrrega corresponents.
2. A continuació es torna a realitzar el càlcul de la potència generada (sumatori dels vectors de les potències nuclear, hidràulica, solar i eòlica, on les dues primeres seran variables fixes i les dues últimes seran valors calculats en l’apartat de programa anterior). Un cop definida aquesta potència, es calcula la potència diferencial per tal de conèixer l’excés o defecte per a cada valor de demanda.

Una vegada més, a partir d’aquesta situació d’excés o de dèficit d’energia, es tornaran a realitzar els càlculs referents a la potència que es pot obtenir o que es pot proporcionar als pantans que serveixen de bateries d’energia en forma d’energia potencial de l’aigua.

En el cas que ens trobem en situació d’excés d’energia:

$$P_{pump} = \min(P_{dif}, P_{pumpmax})$$

$$newEstorage = Estorageaverage[espai de temps anterior] + P_{pump}[eactual] \cdot 1h$$

$$P_{pump}[actual]$$

$$= P_{pump}[actual]$$

$$\frac{\min(Estoragemax, newEstorage) - Estorageaverage[espai de temps anterior]}{newEstorage - Estorageaverage[espai de temps anterior]}$$

$$Estorageaverage = \min(newEstorage, Estoragemax)$$

$$P_{export} = P_{dif} - P_{pump}$$

$$P_{demanda} = P_{demand} + P_{pump}$$



En el cas que ens trobem en situació de defecte d'energia:

$$P_{turbine} = \min(abs(P_{dif}), P_{turbmax})$$

$$newEstorage = Estorageaverage[espai de temps anterior] + P_{dif}[actual] \cdot 1h$$

$$P_{turbine}[actual] \\ = P_{turbine}[actual] \\ \cdot \frac{Estorageaverage[espai de temps anterior] - \max(0.0, newEstorage)}{Estorageaverage[espai de temps anterior] - newEstorage}$$

$$Estorageaverage = \max(newEstorage, 0)$$

$$P_{pump} = 0.0$$

$$P_{combcycle} = -P_{dif} - P_{turbine}$$

$$P_{hydro} = P_{hydro} + P_{turbine}$$

Una vegada s'han finalitzat aquests càlculs, es podria dir que el nostre sistema ja es troba definit. Els passos següents es basaran en treballar amb els valors obtinguts per obtenir les dades que ens interessa analitzar.

Les dades que es calcularan en aquest fragment de la programació són l'energia total que genera cada recurs respecte el total generat i els kg de CO<sub>2</sub> obtinguts a causa d'haver hagut d'instal·lar centrals de cicle combinat.

A continuació es comenta com s'han realitzat els càlculs per a cada una de les variables comentades:

- **Etotal:** representa el sumatori de tota l'energia que es subministra, tant la que forma part de la demanda com la que s'usa per exportació, per a tots els intervals de temps que s'analitzen en el sistema.

$$E_{total} = \text{sum}(P_{demand}) + \text{sum}(P_{export})$$

- **Xsolar**: variable que mostra el percentatge que representa l'energia produïda a partir del recurs solar respecte el total d'energia produïda.

$$X_{solar} = \frac{\text{sum}(P_{solar})}{E_{total}} \cdot 100$$

- **Xwind**: variable que mostra el percentatge que representa l'energia produïda a partir del recurs del vent respecte el total d'energia produïda.

$$X_{wind} = \frac{\text{sum}(P_{wind})}{E_{total}} \cdot 100$$

- **Xcombcycle**: variable que mostra el percentatge que representa l'energia obtinguda a partir de centrals de cicle combinat respecte el total d'energia produïda.

$$X_{combcycle} = \frac{\text{sum}(P_{combcycle})}{E_{total}} \cdot 100$$

- **Xhydro**: variable que mostra el percentatge que representa l'energia obtinguda a partir del recurs hidràulic, tant el valor fixat a l'inici del programa com el produït per compensar el defecte en la producció respecte la demanda, respecte el total d'energia produïda.

$$X_{hydro} = \frac{\text{sum}(P_{hydro})}{E_{total}} \cdot 100$$

- **Xnuclear**: variable que mostra el percentatge que representa l'energia obtinguda a partir del recurs nuclear, partint del valor fixat a l'inici del programa, respecte el total d'energia produïda.

$$X_{nuclear} = \frac{sum(Phydro)}{P_{total}} \cdot 100$$

Un cop s'han definit tots aquests percentatges, que representen la part proporcional de cada recurs energètic al total produït, es realitzaran certes comandes per tal d'obtenir els valors més interessants en pantalla.

Aquestes valors seran:

- Percentatge d'inversió en potència del vent: fa referència a la variable "*best*"
- Potència total instal·lada de cicle combinat: : fa referència a la variable "*Pcombcycle*"
- Emissions de CO<sub>2</sub> : fa referencia a quantes emissions de CO<sub>2</sub> es generaran en el nostre sistema, tenint en compte que l'única energia generadora d'aquest producte és la que prové de les centrals de cicle combinat. Cal tenir en compte que no en totes les franges de temps es generaran emissions de CO<sub>2</sub>, ja que només comptarem amb aquest recurs quan hi hagi un dèficit d'energia entre la producció i la demanda i aquest no es pugui suplir a partir de les centrals hidràuliques reversibles.

La darrera part del post procés de la programació serà definir quines són les gràfiques que resulten interessants per tal d'interpretar la informació que s'obté al executar el programa. S'ha decidit realitzar dues gràfiques per defecte una vegada s'hagi executat el programa, que resultaran de certa utilitat per tal de tenir una idea global del que s'ha obtingut si s'ha variat algun dels valor d'entrada. Aquestes dues gràfiques són les següents:

- Gràfic de distribució del mix d'energies: aquest gràfic mostra com estaran repartits els diferents tipus d'energies (cicle combinat, nuclear, hidràulica, solar i eòlica) respecte el total, és a dir, el percentatge que representa cadascuna d'elles en el mix d'energies.
- Gràfic de distribució de les energies renovables: aquesta gràfica és del mateix tipus de la primera, però es centra només en les energies renovables (hidràulica, solar i eòlica) per tal de centrar-nos en aquelles que segons la normativa s'hauran d'impulsar.

L'última part de la programació servirà per exportar els tots els vectors generats a un arxiu d'Excel, ja que d'aquesta manera l'anàlisi posterior serà més senzill. Les variables que s'exportaran després de l'execució del programa són:

- Psolar
- Pwind
- Phydro
- Pnuclear
- Pcombcycle
- Pdemand
- Pexport
- Estorageaverage

## 5. Dades d'entrada

Un cop s'ha analitzat el mètode amb el qual es decidirà quin es el mix d'energia ideal per a cada situació que es pugui plantejar en un futur en un territori en concret, s'ha procedit a establir les variables d'entrada del nostre sistema. Aquestes variables seran úniques per al territori espanyol i s'introduiran al programa a través de fitxers de format “.dat”.

Aquestes variables d'entrada es situaran en 3 fitxers separats: la demanda energètica horària de la península ibèrica, els factors de càrrega de l'energia generada a partir dels recursos renovables eòlics i solar fotovoltaics i altres variables que acabaran de definir les condicions de contorn per tal de poder arribar al nostre òptim. A continuació s'especifiquen aquestes variables:

### 5.1. Demanda energètica

La demanda energètica del país o del territori a estudiar, en el cas que s'utilitzés el programa per analitzar altres zones que no fossin el territori espanyol, serveix per definir el sobrant o la necessitat d'energia per compensar el que s'ha generat a partir de les condicions climàtiques que s'estudien.

Com s'ha comentat, en el programa el primer que s'estudia és quin és el repartiment òptim d'energia solar i d'energia eòlica, a partir de les dades d'inversió de la població, el cost d'instal·lació de cada una d'elles i els recursos climatològics dels que disposa la zona.

La filosofia de treball per analitzar la situació energètica espanyola consta en estudiar el període més crític de l'any energèticament parlant. Com s'ha comentat anteriorment, la demanda creix quan hi ha una necessitat energètica elevada per temes tant climatològics com laborals, és a dir, durant l'hivern la demanda energètica serà més elevada degut a que causa del fred els habitants de la població necessitaran més energia per escalfar-se. D'altra banda, si ens fixem en l'evolució de la demanda al llarg del dia, aquesta serà elevada durant les hores laborals, ja que les oficines i botigues consumiran gran quantitat d'energia en llum i aparells

climatològics i també les fabriques de producció en els seus processos. Per sobre d'aquest valor ens trobarem en un pic energètic al voltant de les 21h de la nit, quan la societat es trobarà a les seves respectives llars consumint energia per escalfar, il·luminar, cuinar i realitzar altres activitats domèstiques en els seus habitatges.

Per tenir un registre prou contundent d'estudi i que permetés arribar a un valor prou estable de la variable que fa referencia a l'energia emmagatzemada en les centrals hidroelèctriques, que realitzaran la funció de bateries, s'ha decidit estudiar un període de dues setmanes al novembre i de dues setmanes al febrer, que seran les que es consideren més crítiques energèticament parlant.

Caldria dir, que en el cas que es simularà, que fa referencia a l'any 2040, és possible que aquesta demanda energètica augmenti o disminueixi, degut al fet que la població existent al territori pot variar en un període de 20 anys. A més a més, pel que fa referencia a aquest projecte, la població haurà de consumir més energia d'origen elèctric per poder carregar els vehicles que imposarà la nova normativa. D'altra banda, cal tenir en compte una electrificació de la societat més important de la que es té ara, però que en el projecte que s'està treballant es considera compensada amb la millora d'eficiència de la maquinària.

D'aquesta manera, la decisió escollida és la de partir de la demanda energètica datada en dues setmanes a mitjans de novembre de 2018 i en les dues primeres setmanes de febrer de l'any 2019, i a partir d'aquests valors, realitzar una extrapolació cap a situacions futures amb la variació d'habitants que s'estimi i amb més vehicles elèctrics.

La decisió ha sigut de treballar hora a hora, degut al fet que es buscarà obtenir el màxim d'energia partint de renovables, ja que en el cas de no tenir energia de procedència eòlica en una hora nocturna on tampoc hi hagi vent podria donar lloc a una situació limitant.

### **5.1.1. Demanda energètica de l'any 2019**

A partir de les fonts oficial de la *Red Eléctrica Española* [11], s'han pogut obtenir els valors de demanda energètica de la península per als dies compresos entre el període del 5 al 19 de novembre de 2018 i del 6 al 20 de febrer de 2019. Aquestes dades s'han importat en un format ".csv" i, després d'un tractament de dades, s'ha pogut documentar en les hores en punt quina

ha sigut l'energia demanda real i la prevista.

A grans trets, es pot observar en els següents gràfics quina és l'evolució d'aquestes variables durant el període d'estudi, on la primera fa referència a les setmanes de novembre, i la segona, a les setmanes de febrer (veure figures 21 i 22).

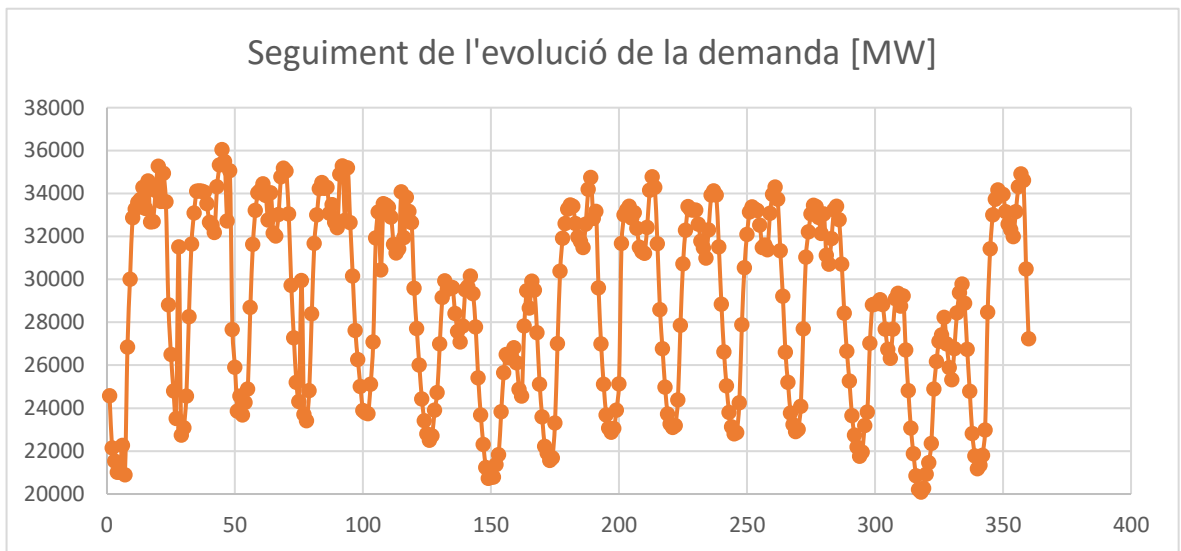


Figura 21 Evolució demanda energètica al novembre

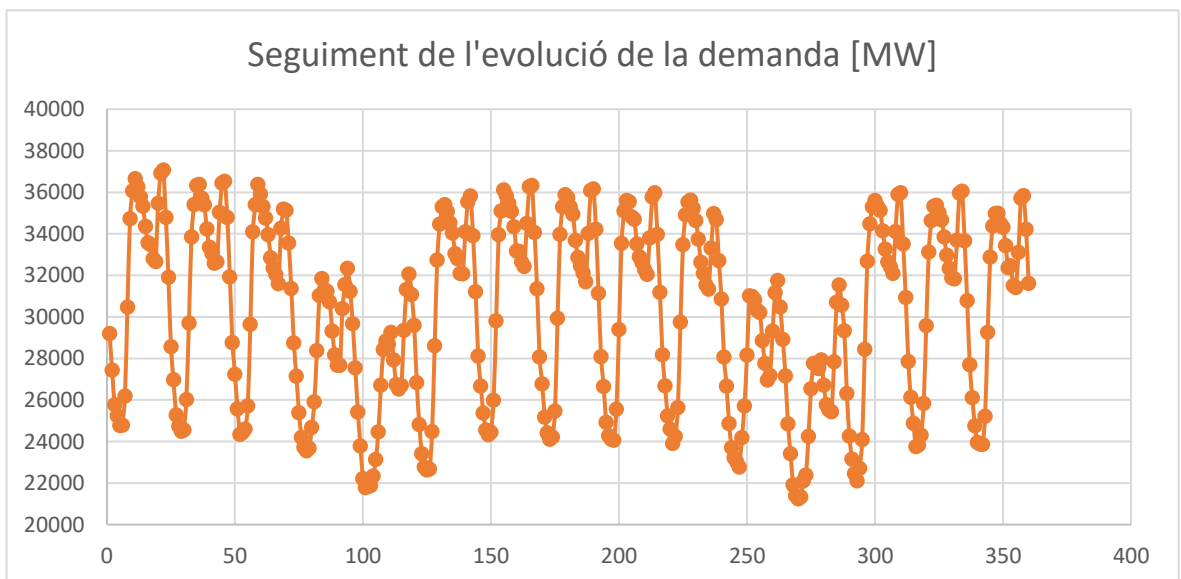


Figura 22 Evolució demanda energètica al febrer

Es pot comprovar com els valors a les dues setmanes de novembre són lleugerament inferiors als que es van tenir per les setmanes estudiades al mes de febrer, mantenint-se la majoria de dies crítics ens valors similars. El dia amb una demanda més crítica va ser el 6 de febrer. L'evolució de la demanda total a la península en aquest dia es mostra al següent gràfic (veure figura 23):

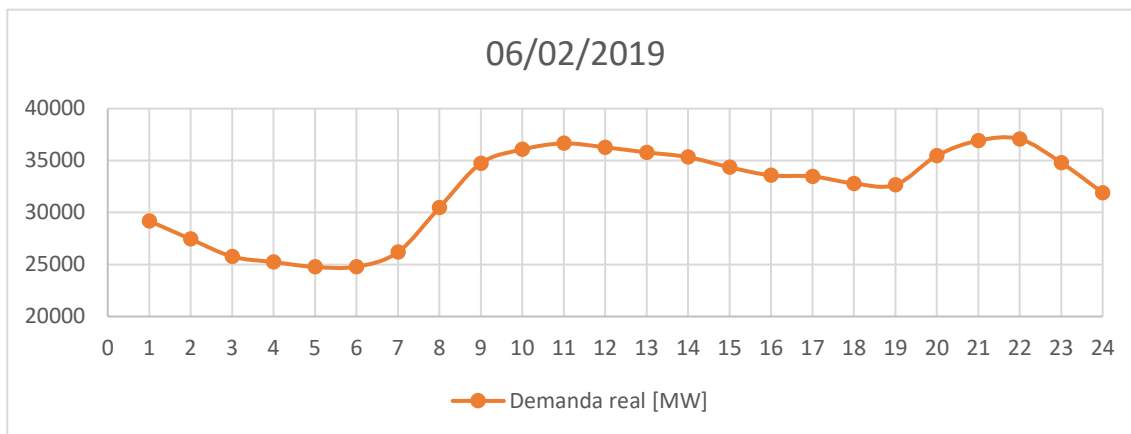


Figura 23 Evolució de la demanda energètica el dia 6 de febrer de 2019 a la península

Com s'ha comentat anteriorment, es pot comprovar com el pic de demanda es troba entre les 21h i les 22h de la nit.

### 5.1.2. Demanda energètica de l'any 2040

Partint dels valors actuals de demanda energètica, el que s'ha realitzat ha sigut una extrapolació a partir de l'evolució de la població d'aquí al 2040.

Per tal de fer-ho, s'ha consultat a la pàgina web *Population Pyramid* [12], d'on s'ha obtingut una estimació de l'evolució de la població al llarg dels anys. El que s'ha fet ha sigut anar partint períodes de 5 anys des del 2020 fins al 2040, per tal de observar la evolució prevista.



El resultat obtingut es pot observar en la següent gràfica (veure figura 24):

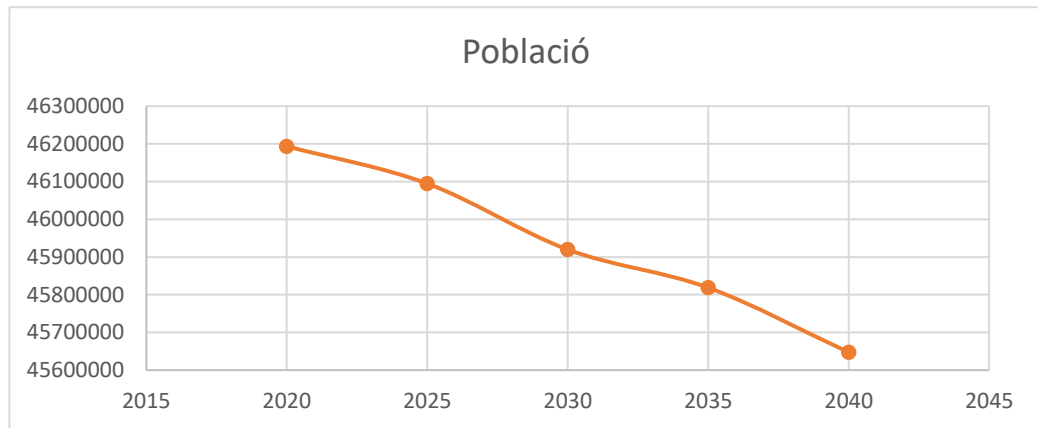


Figura 24 Evolució de la població espanyola

Com es pot observar, està prevista una disminució de la població des de l'any 2020 fins l'any 2040. Per tant, s'obindrà la mateixa situació per a la demanda d'energia als llarg dels anys, realitzant la extrapolació esmentada:

$$Demanda\ energètica\ 2040 = Demanda\ energètica\ 2020 \cdot \frac{Població\ 2040}{Població\ 2020}$$

En la gràfica següent (veure figura 25), es pot observar com varia la mitjana de demanda energètica de les dues setmanes que s'estan estudiant al llarg dels anys, tenint en compte l'evolució de la població al territori espanyol:

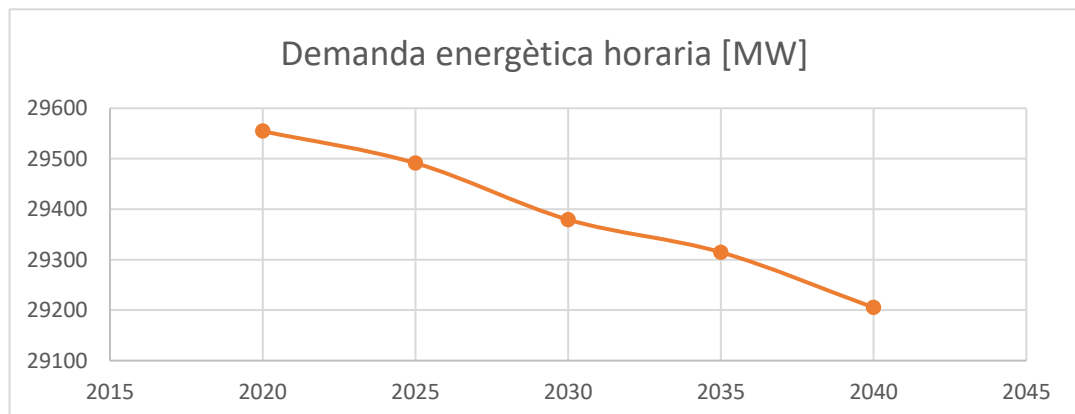


Figura 25 Extrapolació de l'evolució de la demanda energètica

Realitzant la extrapolació per a cada valor de demanda horària de les dades actuals, podrem obtenir els diferents valors d'entrada per a les situacions futures del territori.

### 5.1.3. Demanda energètica de l'any 2040 amb vehicles elèctrics

La segona situació en la que ens podem trobar és la d'intercanviar els vehicles que es troben actualment en circulació en el territori espanyol, que són de combustió, per vehicles elèctrics que en comptes de funcionar a partir de derivats del petroli, amb les conseqüents emissions de diòxid de carboni, funcionaran a partir d'energia elèctrica provinent de fonts d'energia que no generin diòxid de carboni.

Per fer-ho, s'ha realitzat un estudi per arribar a quina seria la demanda energètica en la situació esmentada. El mes de desembre de 2018, a la web oficial de la *Red Eléctrica Española* [13], es va publicar una nota de premsa en la qual aquesta associació afirmava que es sumava al compromís per tal d'obtenir una mobilitat sostenible al territori, a partir de la promoció del vehicle elèctric. En la mateixa nota de premsa es qüestionaven si el sistema elèctric espanyol seria capaç d'assumir l'increment de demanda causat per la substitució de vehicles de combustió per vehicles elèctrics. Per tal de conèixer si el sistema elèctric espanyol podria assumir-ho, el director general de operació de la REE afirmava que per cada milió de vehicles elèctrics nous que s'incorporessin, l'increment de la demanda elèctrica seria aproximadament de l'1%, després d'un estudi realitzat per la companyia.

D'altra banda, segons les taules estadístiques de la *DGT* [14], a l'any 2018 hi havia un total de 23500401 vehicles. Suposant insignificant la porció d'aquests que són elèctrics, i que per tant, tot el volum s'haurà de substituir des d'ara fins al 2040 (per tal de considerar una situació més crítica, es considera que al 2040, quan ja no es permetin matriculacions de vehicles de combustió, tots aquests seran elèctrics), ens trobarem en una situació final amb un increment de la demanda del 24% aproximadament.

A partir d'aquests valors, i tenint en compte el que haurà disminuït la població al llarg dels anys, la demanda, s'anirà augmentant linealment fins a arribar a un 24% al 2040 (veure figura 26):

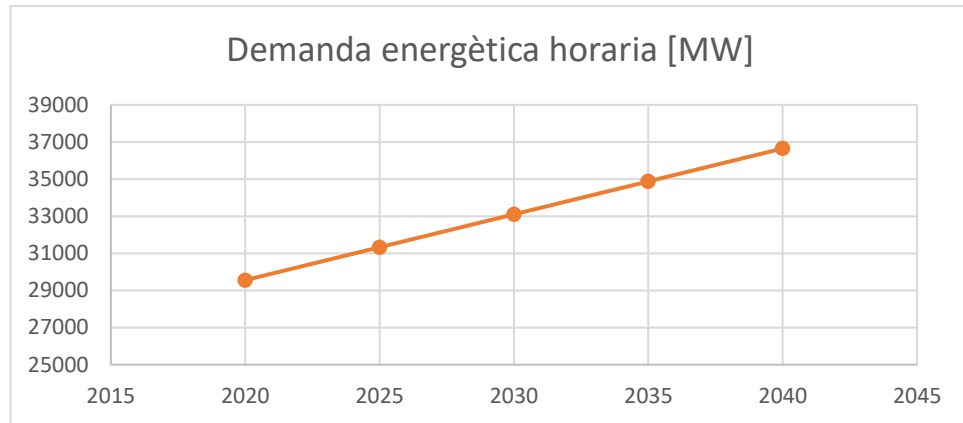


Figura 26 Evolució de la demanda tenint en compte els factors població i vehicle elèctric

## 5.2. Factors de càrrega eòlic i solar

Per tal d'estudiar com varia la capacitat d'obtenir potència del vent i del sol al territori durant les quatre setmanes que s'ha decidit que s'analitzaran, el que s'ha fet ha sigut definir com varia el factor de càrrega. Aquesta magnitud permetrà obtenir una relació directa amb el que han variat els recursos energètics solar i eòlic i l'energia que s'ha pogut obtenir d'ells.

Aquest factor de càrrega s'ha obtingut a partir de la següent equació:

$$f_c = \frac{P_{generada}}{P_{instal·lada}}$$

En el que la potència generada s'analitzarà hora a hora, de la mateixa manera que s'ha fet amb la demanda, durant el mateix període i amb els mateixos espais de temps. El valor de les potències instal·lades per als recursos solar i eòlic s'han obtingut a partir de la web *ENTSOE* [16], i són els que es mostren a continuació:

$$P_{instsolar} = 6751000 \text{ kW}$$

$$P_{instwind} = 22961000 \text{ kW}$$

A partir d'aquests valors, i partint una vegada més de dades de la web *ENTSOE* [16] sobre la potència eòlica generada al llarg de la franja horària d'estudi, s'ha pogut obtenir la variació de les dues variables de factor de càrrega (solar i eòlica), que s'han representat en les gràfiques següents (veure figures 27, 28 29 i 30):

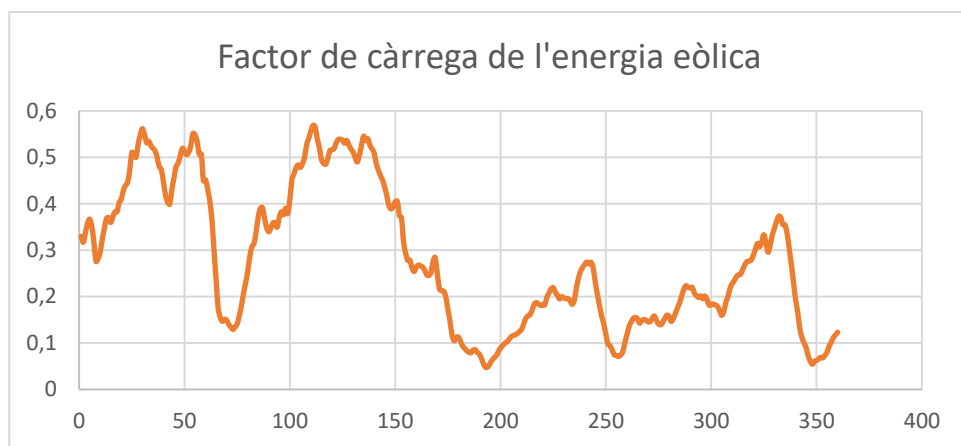


Figura 27 Evolució del factor de càrrega de l'energia eòlica per a les dues setmanes de novembre

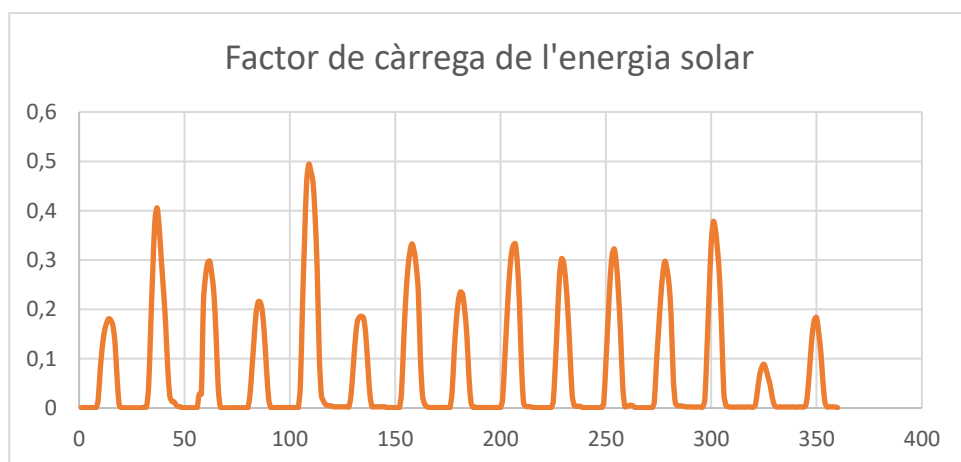


Figura 28 Evolució del factor de càrrega de l'energia solar per a les dues setmanes de novembre

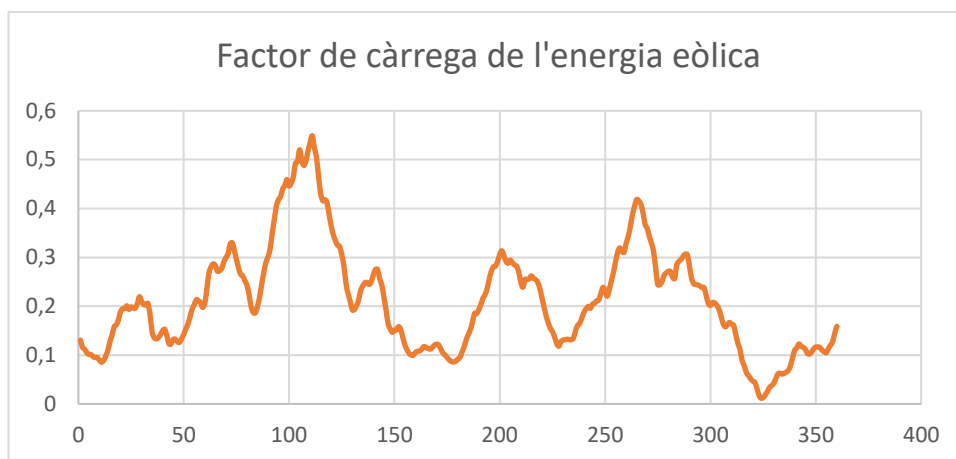


Figura 29 Evolució del factor de càrrega de l'energia eòlica per a les dues setmanes de febrer

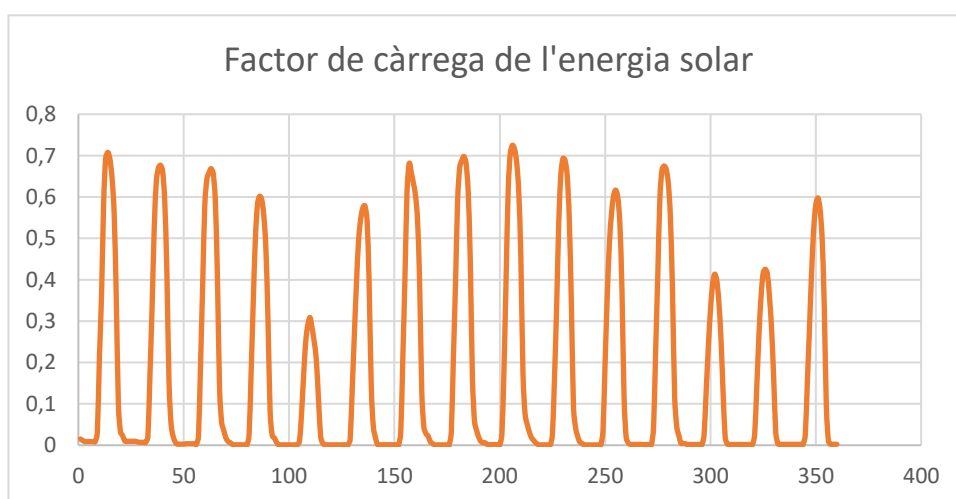


Figura 30 Evolució del factor de càrrega de l'energia solar per a les dues setmanes de febrer

Com es pot observar representat a les gràfica, els valors màxims de factor de càrrega són de 72,5% i de 55,9% per la solar i la eòlica, respectivament. El màxim factor de càrrega per a la energia solar s'ha obtingut en el període d'estudi de novembre, mentre que el màxim per al recurs eòlic s'ha obtingut al febrer.

### 5.3. Centrals hidroelèctriques reversibles

Per tal de definir quina és la potencia que es pot emmagatzemar per bombeig, en el cas que hi hagi un excés d'energia produïda en contra de la que es demanda, s'ha definit el volum màxim en termes energètics que pot emmagatzemar la central hidroelèctrica reversible que representa a totes les del territori. Aquesta haurà absorbit energia a partir de la turbina abans de passar a treballar per bombejar aigua i, d'aquesta manera, recuperar l'energia quan sigui necessària.

Les dades s'han obtingut consultant la pàgina web de *ENTSOE* [16], en la que s'han pogut obtenir dades de la potència produïda en centrals reversible a través d'aigua prèviament bombejada al llarg d'un període de temps.

El que s'ha fet ha sigut analitzar aquestes dades de potència per tal de obtenir quina serà la potència màxima de la turbina o de la bomba que representen el total del país i quines seran les energies màximes i mitjanes que es permeten emmagatzemar en el seu embassament.

Per tal de trobar quina és la potència màxima que es permet bombejar o turbinar en el nostre sistema global, el que s'ha fet ha sigut obtenir el valor màxim de les potències que s'han aconseguit al llarg d'un registre prou significatiu. S'ha procedit obtenint totes les dades de potència bombejada durant el 2018, hora a hora, i s'ha obtingut el valor màxim d'aquestes.

D'aquesta manera, el valor de potència de turbinat i de bombeig màxim en les centrals hidroelèctriques reversibles és de:

$$P_{pumpmax} = 4218 \text{ MW}$$

$$P_{turbmax} = 4218 \text{ MW}$$

D'altra banda, s'ha hagut de definir quina és la energia que es pot emmagatzemar en les centrals hidroelèctriques reversibles, tant la màxima com la mitjana. La metodologia per obtenir aquestes dades ha sigut la següent:

1. S'han definit espais de temps en els que s'ha considerat que el bombeig era possible i, per tant, s'ha pogut obtenir energia turbinant aquesta aigua. Per fer-ho s'ha observat en quins punts la potència subministrada era nul·la o menyspreable, i s'han definit aquests punts com els límits dels nostres espais de temps.
2. Per cada espai de temps, s'ha integrat la corba de la potència al llarg del temps per obtenir la energia que s'ha pogut emmagatzemar en el període d'estudi.

En la figura següent es pot observar com s'ha integrat la corba de potència per al primer interval de temps del 2018 (veure figura 31):

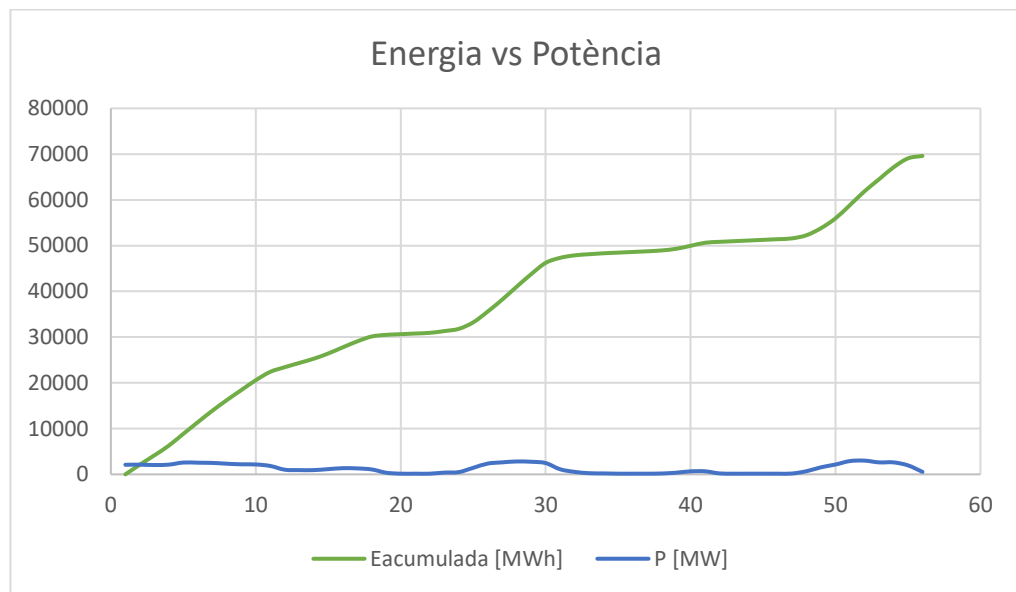


Figura 31 Reserves hidroelèctriques

3. Una vegada obtinguts els valors d'aquestes integrals, és a dir, els valors d'energia emmagatzemats als llarg del temps, s'ha obtingut el màxim i s'ha calculat el valor mitjà de tots per tal de obtenir la energia mitjana. Els valors obtinguts són els següents:

$$E_{storageaverage} = 10042,68 \text{ MWh}$$

$$E_{storagemax} = 148669 \text{ MWh}$$

## 5.4. Condicions de contorn del programa

Per últim, s'han definit les altres variables que no són ni la demanda ni les condicions climatològiques del territori, però que són necessàries per tal que el programa sigui capaç d'arribar a la situació òptima final.

Aquestes són les que es presenten a continuació:

- **Nuclear [kW]:** energia que es genera a les centrals nuclears del territori. Aquesta variable prendrà el valor màxim que es presenta a continuació, obtingut a partir de les dades analitzades a l'inici del projecte, de la font *Red Eléctrica Española* [12], referents a la situació actual espanyola:

$$Nuclear = 53198 \text{ GWh} = 6072831 \text{ kW}$$

Aquesta dada serà una de les variables a jugar durant l'anàlisi ja que s'estudiarà la possibilitat de portar aquesta a un valor de 0 kW, és a dir, a prescindir d'aquest tipus de centrals.

- **Hydro [kW]:** energia que es genera en centrals hidràuliques al territori espanyol. Aquest valor s'ha obtingut en els càlculs a l'inici del programa, a partir de la web oficial de la *Red Eléctrica Española* [12]. El resultat és de:

$$Hydro = 36106 \text{ GWh} = 4121689,5 \text{ kW}$$

- **Costsolar [euros / kW]:** aquesta variable fa referencia al preu que s'ha d'invertir per tal de construir una instal·lació de tipus solar fotovoltaica, per cada kW de potència. Per tal d'obtenir el valor d'aquesta variable, el que s'ha fet ha sigut consultar el document *Trends 2015 in photovoltaic Applications* de *IEA* [15] que, com el seu nom indica, tracta de la indústria de les aplicacions solar fotovoltaiques. En aquest document es mostra una taula en la que s'indica el cost d'instal·lació, en



euros, per unitat d'energia (W). Aquestes dades venen diferenciades segons si seran de tipus residencial, comercial, industrial o d'instal·lació en el terrenys. Els valors per cadascuna d'aquestes és (veure taula 7):

Tipus	Cost d'instal·lació [€ / W]
Residencial	2,20
Comercial	1,50
Industrial	1,20
Instal·lació sobre el terra	1,20

Taula 7 Cost d'instal·lació d'energia solar fotovoltaica

Per tal de simplificar els càlculs, i degut al fet que les instal·lacions de tipus industrial i sobre el terra seran les més significatives sobre el territori, s'ha decidit considerar el valor del cost d'instal·lació de l'energia solar fotovoltaica en:

$$costsolar = 1200 \text{ € / kW}$$

- **Costwind [euros / kW]:** aquesta variable fa referència al preu que s'ha d'invertir per tal de construir una central eòlica, per cada kW de potència. Per tal d'obtenir aquest valor, s'ha consultat un estudi del *CETER* [16] a partir del qual s'ha obtingut el rang de preus en el que es troba el cost d'instal·lació dels parc eòlics actualment. Segons s'indica en aquest document, aquest cost es troba en un rang d'entre 1250\$/W i 1700\$/W, el que seria aproximadament el mateix que entre 1100€/W i 1500€/W. Per tant, es simplificarà treballant amb el valor mitjà d'instal·lació que serà de:

$$costsolar = 1300 \text{ € / kW}$$

- **Pinstcombcycle [kW]:** aquesta variable fa referència al total de potència instal·lada que hi ha actualment per al tipus de centrals de cicle combinat. Convé conèixer el valor actual d'aquesta variable per tal de determinar si el que sortirà com a resultat del programa es podrà abastir amb el que es té actualment instal·lat al territori espanyol, o si, per contra, caldrà afegir més centrals d'aquest tipus. En el cas que s'haguessin d'afegir més centrals d'aquest tipus, caldria augmentar la inversió que realitzarà societat per tal d'aconseguir arribar als valors de demanda que es trobarà a l'any 2040. De totes formes, cal remarcar que aquest valor d'energia obtinguda a partir de les centrals elèctriques de cicle combinat caldrà que sigui el mínim per tal de mantenir la filosofia de minimitzar al màxim les emissions de CO<sub>2</sub> de cara al futur. Aquest valor s'ha obtingut a partir de la web de *ENTSOE* [17], de la mateixa font d'on s'han obtingut els valors de potència instal·lada d'energia eòlica i d'energia solar fotovoltaica, i és el següent:

$$P_{instcombcycle} = 24600000 \text{ kW}$$

- **Population:** variable que fa referència a la població que hi ha al territori espanyol en el moment d'estudi. Aquesta variable s'haurà d'anar variant segons el l'any que es pretengui estudiar, ja que com s'ha comentat anteriorment, segons una previsió de la web *Population Pyramid* [12], aquesta anirà disminuint al llarg dels anys. Aquesta estimació és la que es pot observar a la taula a continuació (veure taula 8):

Any	Població
2020	46193543
2025	46094613
2030	45919674
2035	45818587
2040	45647455

Taula 8 Estimació de l'evolució de la població espanyola

- **Investment [euros / habitant]:** inversió que haurà de realitzar cada habitant del territori per tal d'instal·lar plaques solars i molins de vent amb l'objectiu d'obtenir energia de forma renovable. Aquesta variable es fixarà primer en un valor en concret, que és el que es mostra a continuació, després de realitzar iteracions per tal de comprovar quin n'és l'òptim:

$$investment = 4000 \frac{euros}{habitant}$$

Degut a que la població anirà disminuint al llarg dels anys, segons la taula anterior en la que s'observa aquesta estimació, caldrà tenir en compte que la inversió total també ho farà. És per aquest motiu, que s'haurà de valorar un possible increment de la inversió per habitant per tal de mantenir el total constant, segons els resultats de post procés obtinguts amb les iteracions dels programa creat.

- **CO2factor [KgCO<sub>2</sub>/ kWPCCE]:** emissions de diòxid de carboni que s'emeten a l'atmosfera per kW d'energia provinent de centrals de cicle combinat. Aquest valor s'ha obtingut a partir d'un estudi del director d'enginyeria I+D d'Endesa [18] i correspon a:

$$CO2factor = 0,45 \frac{KgCO_2}{kWh}$$

## 6. Anàlisi de la situació energètica al territori espanyol l'any 2040

Per tal de finalitzar amb l'estudi, s'analitzaran les dades que s'obtenen de l'execució del programa partint dels diferents valors d'entrada que s'han anat trobant als apartats anteriors. Per fer-ho, s'ha decidit seguir la metodologia que s'especificarà a continuació:

1. Disseny i execució d'un programa per analitzar la inversió òptima per habitant de la situació estimada al 2040
2. Càlcul de la situació òptima actual del sistema energètic espanyol, sense inversió per habitant i tenint en compte l'energia nuclear total instal·lada en el sistema
3. Comparativa dels valors obtinguts a la situació energètica espanyola al 2030 respecte amb els que s'havia previst assolir en l'apartat de normativa
4. Càlcul de la situació òptima futura en l'any 2040 al territori espanyol i comparació d'aquests valors amb els que s'hauran obtingut en l'apartat anterior
5. Anàlisi de sensibilitat de les dades estimades, per tal d'observar com fluctuen els valors de potència solar, eòlica i cicle combinat que s'hauran d'instal·lar segons la possible variació que tinguin les dades d'entrada

### 6.1. Càlcul de la inversió

Partint dels valors estimats per a l'any 2040 de factor de càrrega d'energia solar, factor de càrrega d'energia eòlica i demanda, tenint en compte que tots els vehicles que circularan pel territori seran elèctrics, amb l'increment de demanda elèctrica que això suposa, i que la població total del territori serà inferior, es calcularà quin és el valor òptim d'inversió per habitant que s'haurà de realitzar per tal de poder instal·lar suficient energia renovable com per minimitzar la el consum d'energia de cicle combinat.

Per tal d'aconseguir aquest valor, el que s'ha fet ha sigut establir un bucle que englobés tot el programa anterior, és a dir, que l'anés repetint per a diferents valors d'inversió que es volguessin provar.

Amb l'objectiu d'obtenir una solució dins d'uns marges raonables, s'ha decidit repetir aquest bucle entre els valors de 1000€/habitant i 10000€/habitant. A més a més, per tal de no saturar el programa amb moltes iteracions s'ha decidit treballar amb la funció *while* i amb passos entre

un iteració i la següent de 100€/ habitant, ja que s'ha pensat que els valors que es poguessin obtenir entre mig de cada un dels punts d'estudi no serien significatius i es podrien extrapolar.

D'altra banda, la variable que s'ha decidit optimitzar en el seguit d'iteracions d'inversió ha sigut la potència total que haurien d'aportar les centrals de cycle combinat en el mix d'energia total. Recordem que aquesta variable era la mateixa que s'optimitzava per trobar el valor de repartiment d'inversió entre solar i eòlica. En aquest cas, s'haurà emmagatzemat en un vector, per a cada valor d'inversió total, la potència de cycle combinat que es necessitaria amb el repartiment entre solar i eòlica més favorable.

Les línies de codi que s'han hagut d'afegir al original han sigut:

1. Afegir els límits d'inversió mínima i màxima i de pas entre les diferent iteracions d'inversió a les dades d'entrada i importació d'aquestes al programa.
2. Inicialització de la variable *invest* al valor mínim d'inversió (*investmentmin*) i creació del vector *PCC* en el qual s'afegiran els consums en centrals de cycle combinat per tal de trobar l'òptim.
3. Creació del bucle mitjançant per a cada valor d'inversió des del valor d'inversió mínim i màxim amb un pas entre un valor i l'altre igual al definit en les dades d'entrada. Abans de finalitzar la programació, per a cada valor d'inversió, s'emmagatzemarà el valor que correspongui al vector *PCC*.
4. Una vegada finalitzades les iteracions, s'obtindrà l'índex del valor d'inversió que tingui el consum en centrals de cycle combinat inferior.

A partir de les dades de 2040, amb els factors de càrrega i la demanda que corresponen i tenint en compte que no es tindrà energia nuclear, s'ha obtingut la gràfica següent (veure figura 32):

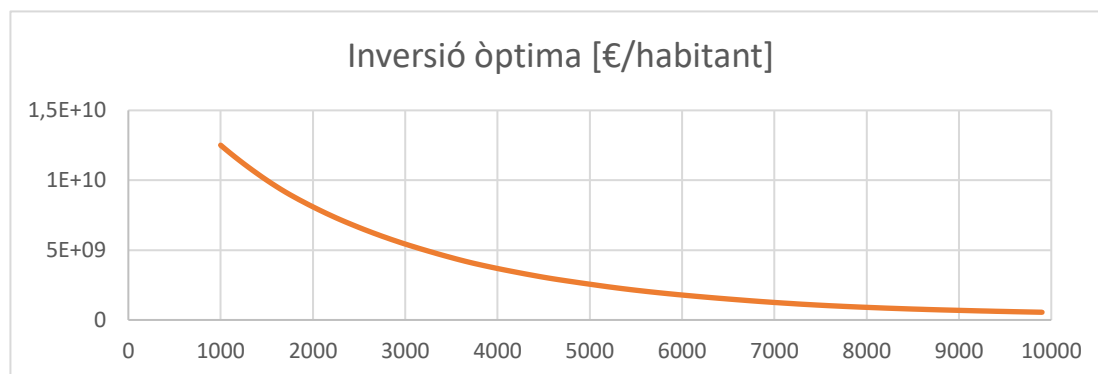


Figura 32 Càlcul de la inversió òptima

Com es pot observar, a mida que augmenta el valor d'inversió disminueix el valor d'energia que s'ha de generar a partir de centrals de cicle combinat, però cada vegada la pendent amb el que aquest valor disminueix és menor. Per tant, caldrà triar un valor que faci disminuir suficientment la quantitat d'energia generada amb centrals de cicle combinat, que serà directament proporcional a les emissions de diòxid de carboni que es creïn, però no s'haurà d'augmentar la inversió d'una manera molt elevada ja que a partir de cert valor deixa de ser significatiu aquest estalvi d'energia creada a partir de centrals de cicle combinat.

Aquest valor òptim d'inversió per habitant és de:

$$bestinversion = 4000 \text{ €/habitant}$$

S'ha decidit triar aquest valor degut a que a partir d'aquest l'estalvi no és tant significatiu i, a més a més, aquest valor implicarà una inversió de 2000€ per habitant cada 10 anys, que s'ha considerat assolible. Per tant, en les iteracions que es realitzin en els anàlisis següents es considerarà la inversió igual a aquest valor.

Cal tenir en compte que a mida que s'augmenta el valor d'inversió disminueix el que s'obté a partir de centrals de cicle combinat, però que aquest valor tendeix a ser 0 o menyspreables per a valors d'inversió que tant alts que no resulten realistes per a la situació estudiada (s'ha comprovat que a partir de 110000 €/habitant ja no caldrà generar energia a partir de centrals de cicle combinat, un total de  $5 \cdot 10^6$  M€), ja que com es pot observar, la gràfica analitzada es tracta d'una funció exponencial. Per tant, no hi haurà cap valor d'inversió realista que permeti no haver de generar energia amb centrals de cicle combinat, ja que a partir de cert valor, per un increment elevat d'inversió la reducció d'energia generada a partir de centrals de cicle combinat resulta ínfima.

## 6.2. Anàlisi de la situació espanyola actual

Les premisses per tal de començar amb l'anàlisi de la situació òptima energètica del sistema espanyol són:

- Evolució de la demanda tenint en el sistema 100% de vehicles de combustió i el total de població del territori actual
- Factors de càrrega solar i eòlic estimats en l'apartat *Dades d'entrada*
- Aportació d'energia nuclear al sistema energètic espanyol del 100% del que es té actualment

- No es realitza inversió per tal d'instal·lar més energia solar o eòlica de la que es té actualment en el sistema

Partint d'aquestes dades i després de realitzar els càlculs amb el programa dissenyat, s'han obtingut diferents gràfiques i dades que s'analitzaran a continuació, on la primera d'aquestes serà la que ens mostrarà un resum global de com ha sigut la contribució al llarg dels 30 dies (en l'eix x, 720h) de cada un dels tipus d'energia que s'estudien en el sistema per tal d'assolir la demanda desitjada (veure figura 33).

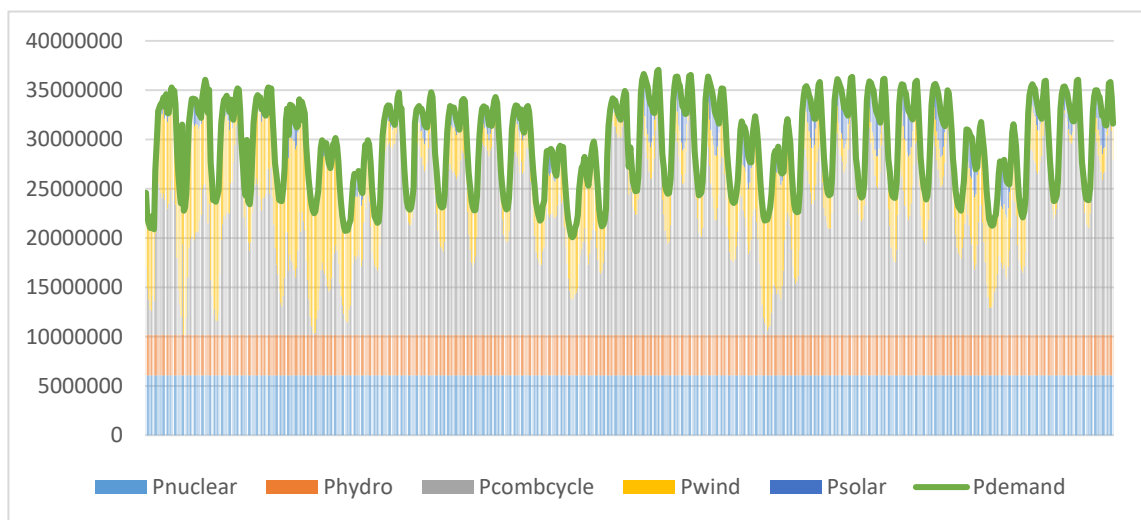


Figura 33 Distribució òptima del sistema energètic actual

Com es pot observar, tenim un sistema on l'energia nuclear i la hidràulica tenen uns valors constants per als 30 dies d'anàlisi. Per al cas de l'energia nuclear era una imposició del programa, però per al cas de l'energia hidràulica, aquesta podia variar en el sistema si també es tingués una variació de les reserves hidroelèctriques dels pantans que serveixen de bateria d'energia per als moments on la demanda sigui superior al que es pot produir. Com es pot observar en el gràfic superior, aquesta manté el seu valor al llarg del programa. Aquest fet és degut a que al trobar-nos en una situació deficitària constantment, els pantans es buiden a l'inici del temps d'estudi i aquests no es tornen a omplir en cap moment. També es pot observar com el total d'exportacions és del 0%, ja que no hi ha cap espai de temps d'estudi en que existeixi un sobrant d'energia.

D'altra banda, pel que fa a l'energia que predomina en el sistema òptim actual, aquesta és la procedent de les centrals de cicle combinat. Aquest fet es pot explicar degut a que en el nostre sistema s'ha simplificat a les energies de tipus eòlica, solar fotovoltaica, hidràulica i nuclear, a

més a més del que es produeix a partir de centrals de cycle combinat que tenen la funció de suplir amb el que realment estan subministrant molts més tipus de fonts energètiques en el sistema real. Malgrat això, es pot observar que actualment, per un registre de 30 dies dels més crítics de l'any, amb les energies no generadores de CO<sub>2</sub> no és suficient com per abastir la demanda i, per tant, caldrà invertir en noves centrals per tal d'obtenir una situació més favorable, més tenint en compte que es tancaran les centrals nuclears del territori.

En la gràfica següent es pot observar com ha sigut la evolució de la potència que s'ha generat partint de centrals de cycle combinat. Com es pot comprovar, es té una evolució semblant al que és la demanda però amb una magnitud inferior, ja que com a energies variables, a més a més del cycle combinat, es tenen la solar i la eòlica que tenen una contribució significativament menor al mix energètic que l'energia provinent del cycle combinat. També cal destacar que el valor màxim que s'obté és inferior encara que molt pròxim al que es té instal·lat actualment (24600000kW) (veure figura 34).

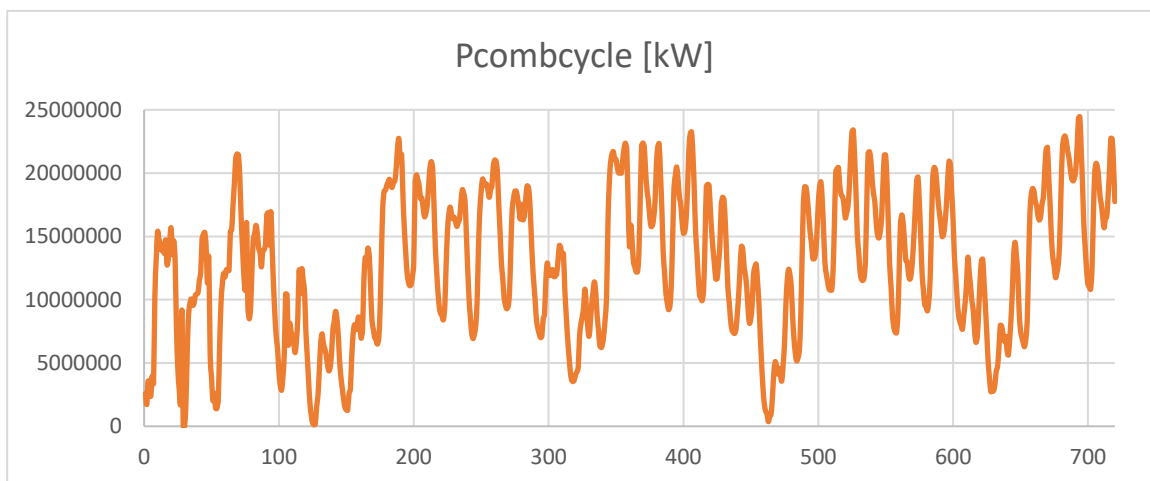


Figura 34 Potència de cycle combinat generada en la situació òptima actual

Degut a la gran quantitat d'energia generada en aquests 30 dies partint de centrals de cycle combinat, es pot dir que s'hauran generat un total de 4149661545,6 kg de CO<sub>2</sub> o, el que és el mateix, extrapolant aquests dies de situació desfavorable al llarg de l'any per tal de tenir uns valors més conservadors, 50487,5 kts de CO<sub>2</sub>, que és aproximadament el doble del que es té en el 2017. Per tant, aquesta comprovació es pot considerar prou sobredimensionada per tal de poder abastir el sistema en qualsevol situació degut als dies que s'han analitzat.



Per tal de completar l'anàlisi, es troben a continuació les gràfiques que mostren com ha sigut aquest repartiment entre els diferents tipus d'energies (veure figura 35):

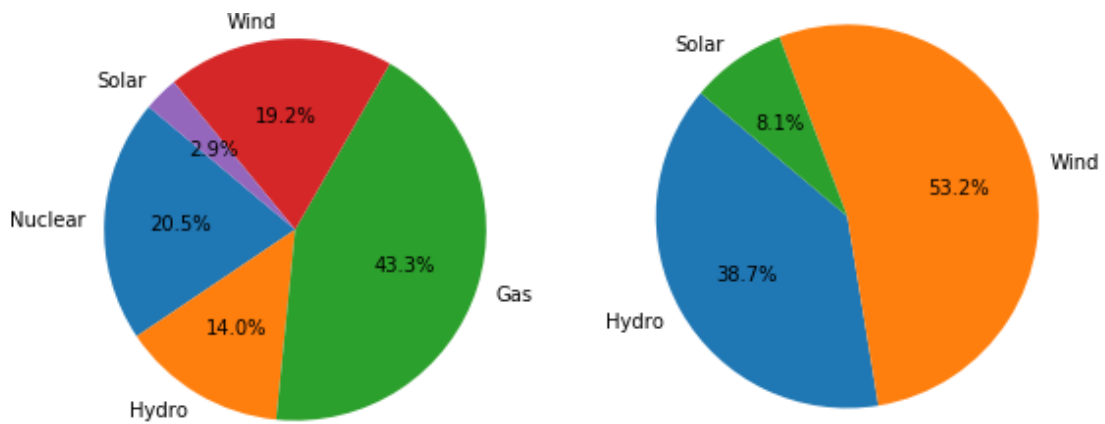


Figura 35 Distribució del mix d'energia òptim actual

Com es pot observar i s'ha comentat, del total d'energies que formen el mix del sistema que s'està estudiant, la majoritària és la procedent de les centrals de cycle combinat amb un 43,4%, seguida de les centrals nuclears amb un 20,5%, eòliques amb un 19,2%, hidràuliques amb un 14,0% i solars fotovoltaïques amb un 2,9%.

Observant la segona gràfica cal tenir en compte que no es produeix inversió en energies renovables per tal d'instal·lar noves centrals, degut al fet que s'està estudiant la situació actual i es tindrà com a energia generada la instal·lada multiplicada per el factor de càrrega. Tenint en compte aquesta situació, es pot comprovar com el sistema espanyol genera molta més energia part del recurs eòlic que del recurs solar.

Com s'ha establert en l'apartat *Dades d'entrada*, les potències instal·lades són de 6751000kW per a la solar i 22961000kW per a la eòlica, és a dir, la potència instal·lada eòlica és 3,4 vegades superior a la solar i s'obté un valor 6,6 vegades més gran de potència generada eòlica que de solar. Per tant, es pot observar com el factor de càrrega eòlic és més rentable.

### 6.3. Anàlisi de la situació espanyola al 2030

L'anàlisi que es realitzarà de la situació espanyola al 2030 es basarà en comprovar si les previsions que s'havien cercat que es realitzaven s'han assolit. Aquestes previsions eren les següents:

- 70 % de la producció d'energia elèctrica prové de fonts renovables
- Reduir les emissions de CO<sub>2</sub> un 20% respecte el valor actual, on el valor actual és de 282364 kilotones.

A partir de l'execució del programa fent ús de les dades d'entrada que s'han comentat a l'apartat corresponent, sense l'ús de l'energia nuclear ni del carbó i amb la demanda prevista per a aquestes dates, els valors obtinguts han sigut de:

- 89 % de l'energia obtinguda a partir de recursos renovables, com es pot observar a la gràfica (veure figura 36):

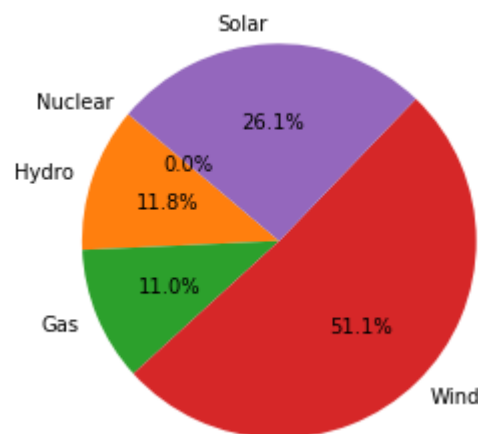


Figura 36 Distribució del mix energètic al 2030

- 18917,1 kilotones de CO<sub>2</sub> (extrapolant de les dues setmanes a tot l'any), un 6,7% del valor que es tenia

Per tant, es pot observar com es complirien les previsions que s'han descrit de manera suficient en el cas que s'apliqués el tipus de sistema que s'estableix amb la programació dissenyada.

## 6.4. Anàlisi de la situació espanyola al 2040

Per tal d'iniciar l'anàlisi de la situació futura del sistema energètic espanyol al 2040, s'han establert les premisses que es comenten a continuació:

- En la demanda es té en compte la disminució de la població i la substitució total de vehicles de combustió per vehicles elèctrics. Per tal de tenir uns valors d'aquesta demanda més reals, es suposa que un 70% de l'increment de la demanda es produeix durant la nit (de 22h a 6h) i la resta, un 30%, es produeix durant el dia (de 7h a 21h). Aquesta aproximació es realitza ja que se suposa que serà durant la nit quan els usuaris de vehicles elèctrics carregaran els seus vehicles i durant el dia només es carregaran en alguns moments concrets. Per tant, l'evolució de la demanda quedarà de la següent manera al llarg dels 30 dies de novembre i febrer estudiats (veure figura 37):

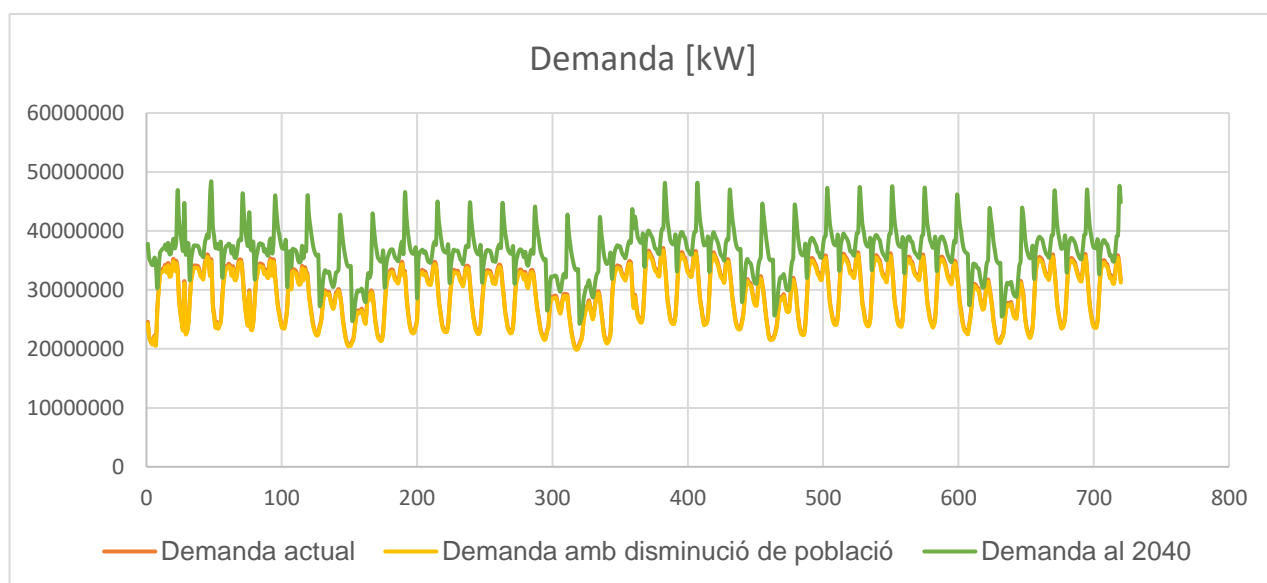


Figura 37 Distribució de la demanda a la situació futura

- Els factors de càrrega solar i eòlic es mantenen en els valors estimats en l'apartat *Dades d'entrada*
- L'aportació d'energia procedent de les centrals nuclears i de carbó es suposa al 0%, tenint en compte que el total de centrals d'aquests tipus ja s'hauran tancat les premisses establertes

- La inversió que es realitza és la òptima que s'ha calculat amb el bucle que s'explica en el primer apartat de l'anàlisi de dades, que és de 4000€/habitant.

Partint d'aquestes dades i, de la mateixa manera que s'ha fet per al cas de de la situació actual, es passarà a analitzar quina ha sigut l'afectació de la variació de les dades d'entrada a les dades de sortida a partir del programa dissenyat. Aquest anàlisi es farà a partir de les gràfiques que s'han considerat més il·lustratives per tal d'explicar el resultats.

La primera d'aquestes gràfiques que s'analitzarà es tracta, com en el cas anterior, de la que mostra la contribució de tots els tipus d'energia que s'han considerat que generaran energia, la demanda que es té en cada espai de temps analitzat i, per tant, el sobrant d'energia que s'exportarà que serà la part d'energia generada que quedi per sobre de la línia de la demanda (veure figura 38):

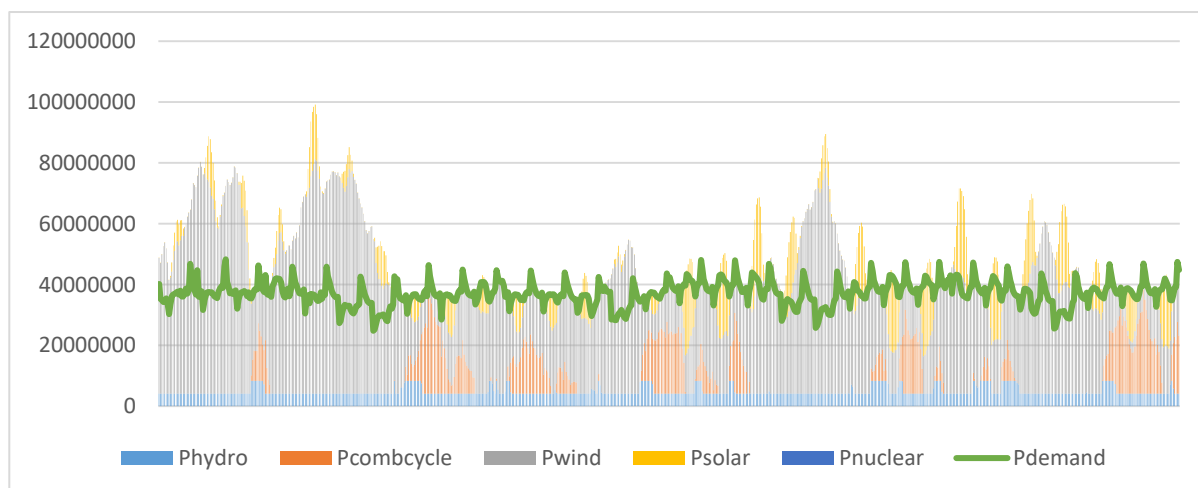


Figura 38 Distribució òptima del sistema energètic futur

Observant aquesta gràfica, es pot comprovar com els resultats han sigut bastant diferents respecte el que es tenia en el cas de la situació actual.

Primer de tot cal destacar que no existeix cap tipus de font d'energia generadora d'electricitat per al sistema que mantingui un valor constant al llarg del programa, a diferencia del cas actual en el que tant l'energia nuclear com la hidràulica tenien un valor que es mantenia per a tots els moments d'estudi.

Per al cas de la nuclear, com s'ha comentat, era una premissa de l'anàlisi de la situació futura al 2040 que aquesta no contribuís en el sistema, ja que degut a l'antiguitat de les seves

centrals, totes aquestes s'hauran tancat en el moment d'estudi.

D'altra banda, en el cas de l'energia hidràulica, aquesta va variant, tot i que amb uns valors força baixos, ja en aquesta situació analitzada es més equilibrada per al que fa a la demanda i a la producció que en el cas de la situació òptima actual analitzada en l'apartat anterior. És per aquest motiu que la situació va fluctuant en moments d'excés energètic i en moments de defecte energètic, fet pel qual les reserves hidroelèctriques es van omplint i buidant segons la necessitat. Això provoca aquesta variació en la producció hidràulica degut a la potència que caldrà bombejar per tal d'omplir les reserves hidroelèctriques en els moments d'excés d'energia.

Aquesta evolució de l'energia que es troba emmagatzemada en les reserves hidroelèctriques es pot observar en la següent gràfica (veure figura 39):

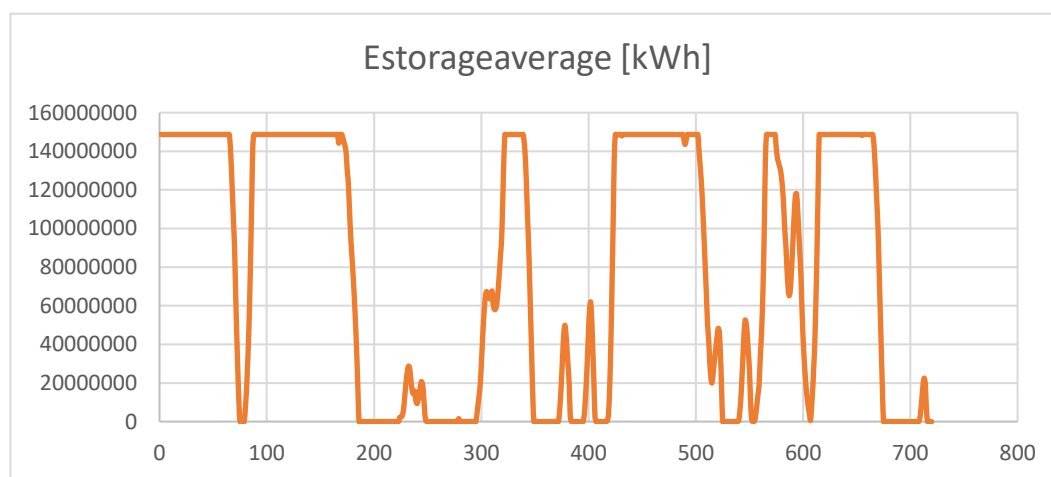


Figura 39 Evolució de les reserves en pantans al 2040

Com es pot comprovar observant la gràfica, el valor d'emmagatzematge en les reserves hidroelèctriques parteix del màxim, ja que es comença en una situació d'excés d'energia que aconsegueix omplir les reserves des del valor mitjà on es troben fins al valor màxim que poden assumir i va variant aquest valor en els punts del programa on es produeixen situacions de dèficit d'energia i es buiden les reserves o situacions d'excés d'energia on aquestes es tornen a omplir. Es podrà comprovar que quan les reserves hidroelèctriques estiguin plenes, l'energia sobrant es podrà exportar i que quan aquestes estiguin buides, caldrà suplir la manca d'energia a partir de centrals de cicle combinat. Per tant, aquesta gràfica dona una clara idea de la situació que es té en tot moment.

A continuació es mostren els resultats obtinguts respecte a la potència en centrals de cycle combinat, que serà necessària en moments de dèficit energètic quan no es pugui compensar amb reserves hidroelèctriques, i respecte a la potència que s'haurà d'exportar quan no hi hagi més capacitat com per omplir els pantans (veure figures 40 i 41):

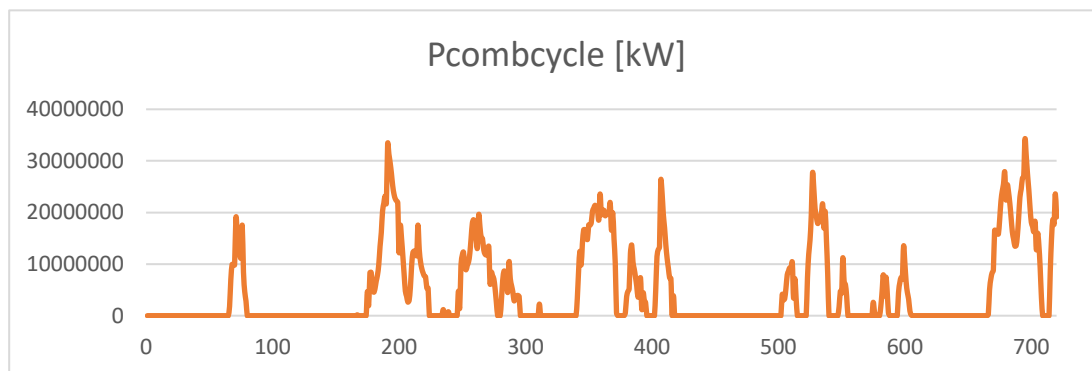


Figura 40 Evolució de la potència generada amb cycle combinat al 2040

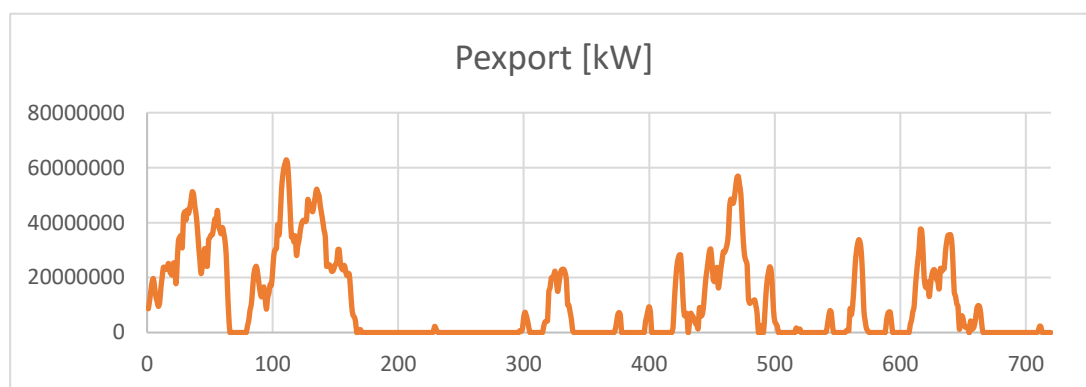


Figura 41 Evolució de la potència exportada al 2040

Pel que fa al cycle combinat, s'ha pogut comprovar com l'aportació d'aquesta al sistema ha sigut significativa ja que s'ha hagut d'obtenir potència d'aquest tipus en gran part dels moments d'estudi del programa, amb major o menor proporció. Observant la gràfica es pot veure com els únics punts on aquest tipus d'energia no ha sigut necessària és quan, en situació de dèficit, s'han buidat les reserves sense arribar a 0, quan s'han pogut omplir els pantans pel fet de tenir un excés o, fins i tot, quan s'ha pogut exportar energia, com es pot observar en la segona gràfica. D'aquesta manera, a partir de la comparació de la gràfica d'energia emmagatzemada en reserves hidroelèctriques, la de potència generada en centrals de cycle combinat i la de potència exportada, es pot arribar a la conclusió que ens trobem en una situació bastant equilibrada pel que fa a la demanda i a la generació d'energia, a diferencia del que es tenia en la situació òptima actual, en la que l'aportació en centrals de cycle combinat

ha sigut continua degut al dèficit energètic.

Com s'observa a la gràfica de la potència obtinguda a partir de centrals de cycle combinat, el valor que es té instal·lat en el sistema actualment, de 24600000 kW, és inferior al màxim que s'arriba a necessitar, de 34235034,47 kW. Per tant, serà necessària una inversió per tal d'instal·lar la diferència de potència entre el màxim que cal generar i el que es té instal·lat. D'aquesta manera, per tal de tenir un sistema prou robust en el 2040, caldrà instal·lar una potència mínima de cycle combinat addicional a la que es tenia de 9635034,47 kW.

A partir de la web de Renovetec ([19] s'ha trobat que el cost d'instal·lació per MW de centrals de cycle combinat és de 500000€/MW. A partir d'aquest valor, i tenint en compte les dades de població i la potència que caldrà instal·lar de cycle combinat, s'ha pogut trobar quina és la inversió addicional que hauran de realitzar els habitants del territori espanyol per tal d'assolir la robustesa del sistema. Aquesta inversió haurà de ser de mínim 104,29€/habitant

Per últim, es representa la contribució de cada tipus d'energia en el sistema elèctric optimitzat per al 2040 (veure figura 42):

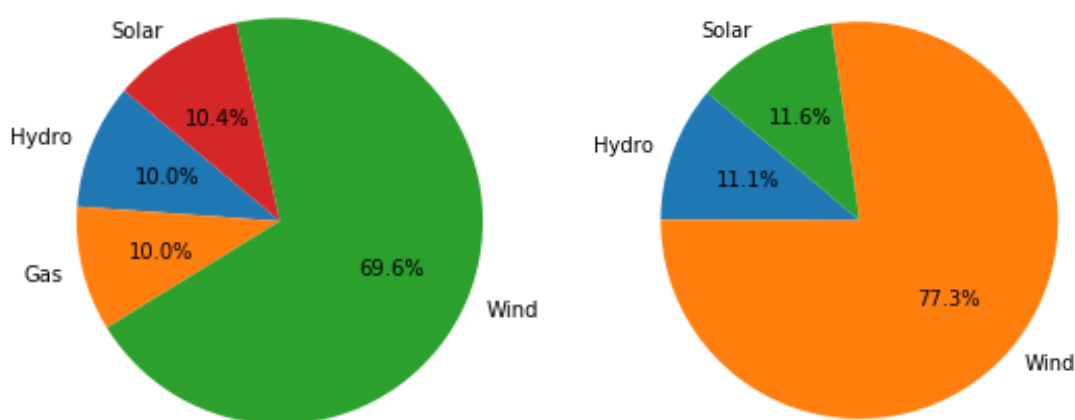


Figura 42 Distribució del mix d'energia òptim futur

Com es pot comprovar, el recurs que acabarà tenint una major contribució al sistema serà la potència eòlica amb un 69,6%. D'altra banda, pel que fa a les altres potències contribuïdores en el sistema, es pot dir que tant la hidràulica, la solar i la procedent de centrals de cycle combinat tenen una mateixa aportació al sistema, d'aproximadament el 10%. Cal destacar, per tant, que donada la situació que s'ha estimat per a l'any 2040 a Espanya i realitzant una inversió per tal d'aconseguir suplir el màxim de la demanda amb energies de tipus renovables, caldrien encara centrals de cycle combinat per tal d'aconseguir la robustesa del sistema. A

més a més, el fet de tancar centrals nuclears farà que encara s'hagi de realitzar més inversió per tal d'instal·lar més centrals de cicle combinat per tal que substitueixin el que s'hagués pogut obtenir si no s'haguessin tancat.

D'altra banda, observant la segona gràfica de repartiment d'energies, es pot comprovar com l'energia eòlica ha sigut molt més rentable que la solar ja que aquesta, malgrat la seva inestabilitat, no té pics i valls regulars al llarg del dia com la solar i, per tant, augmentant la inversió en aquesta es pot cobrir la demanda en tots els punts del dia. En el cas que s'incrementés la inversió en l'energia solar, es seguiria tenint dèficit energètic de la demanda respecte la producció en les hores en les que no hi ha sol però que es necessita que es produeixi energia.

## 6.5. Anàlisi de sensibilitat

Per tal de finalitzar amb l'anàlisi del projecte, es definiran les dues situacions límit en que ens podríem trobar en el cas de que els valors d'entrada previstos (factor de càrrega eòlic, factor de càrrega solar i demanda) tendissin cap als valors màxims o mínims que s'ha estimat que podrien assolir.

Aquestes dues situacions definides han sigut les següents:

- Situació optimista: augment dels recursos i reducció de la demanda
  - Reducció d'un 10% de la demanda estimada
  - Augment d'un 10% del factor de càrrega solar
  - Augment d'un 10% del factor de càrrega eòlic
- Situació conservadora: reducció dels recursos i augment de la demanda
  - Augment d'un 10% de la demanda estimada
  - Reducció d'un 10% del factor de càrrega solar
  - Reducció d'un 10% del factor de càrrega eòlic

Partint de l'anàlisi d'aquestes dues situacions, es comprovarà quina serà l'afectació a les variables de sortida de potències que s'hauran d'instal·lar de recursos solar i eòlic per tal de conèixer entre quins rangs ens podríem trobar ja que, com s'ha comentat, les dades d'entrada que s'han obtingut són una estimació. Per poder trobar la potència que caldrà instal·lar, una vegada realitzada la iteració, es buscarà quin és l'espai de temps de màxima potència necessària i se li restarà la instal·lada actualment, tant per la solar, la eòlica i el cicle combinat.



A partir d'aquestes dades s'han construït les gràfiques següents (veure figures 43, 44 i 45) que mostren els límits màxim i mínim, tant per potència eòlica, solar i de cycle combinat necessàries per tal de suplir la demanda. La de color verd representa la situació més optimista i la de color vermell representa la més conservadora:

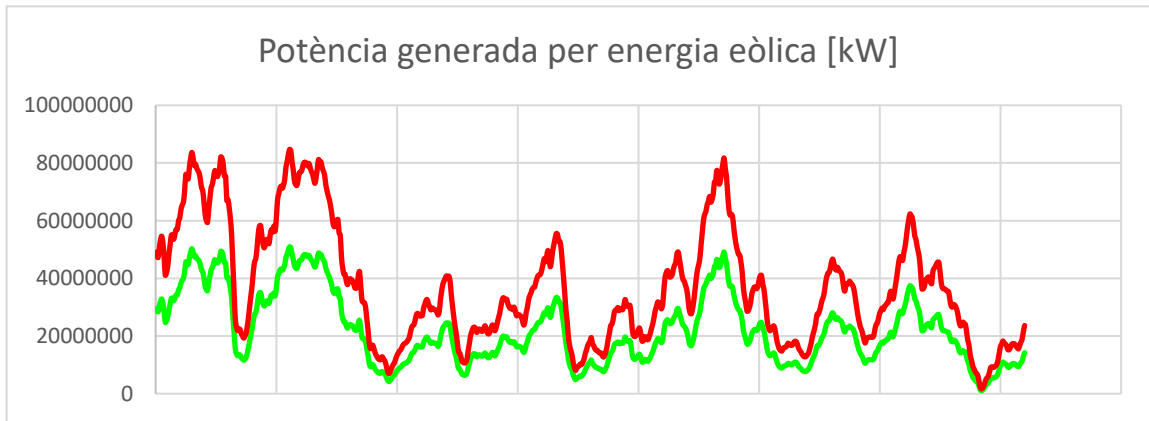


Figura 43 Límits de potència generada eòlica

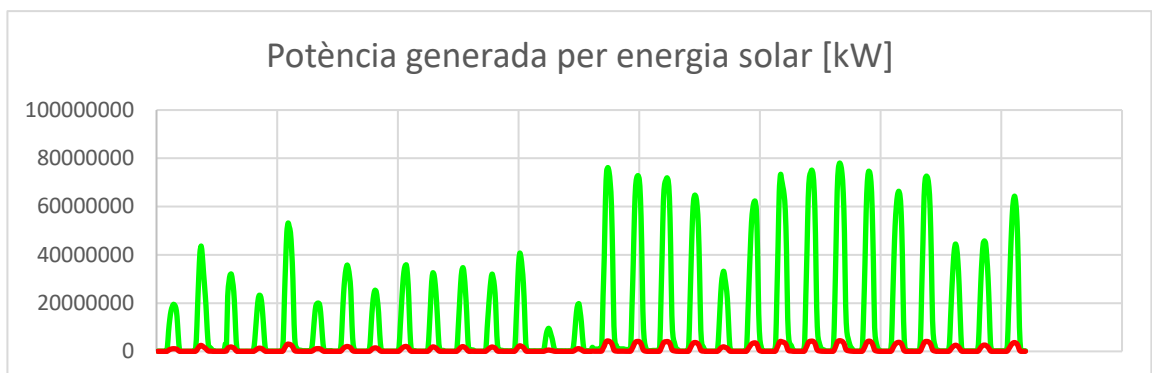


Figura 44 Límits de potència generada solar

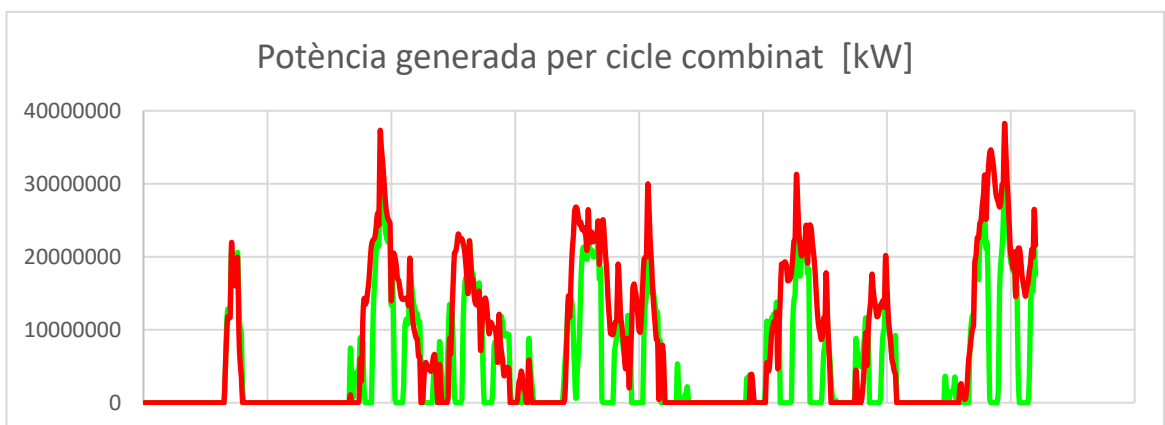


Figura 45 Límits de potència generada per cycle combinat

Com es pot observar, una vegada s'han analitzat les dues situacions, la situació optimista és aquella en la que es permet instal·lar un valor més baix de centrals de cicle combinat reduint així el valor d'inversió total que hauran de realitzar els habitants del territori, per tal d'obtenir un sistema robust, així com de generar menys quantitat de diòxid de carboni.

Pel que fa a la quantitat d'energia generada a partir de les fonts renovables, es pot observar com el que es genera a partir de l'eòlica és major en el cas més conservador, a diferencia de la solar, que és major en el cas més optimista.

En el cas més conservador es considera més energia eòlica que en el cas optimista, ja que aquesta, degut a la seva distribució, és més robusta que la solar que amb el seu perfil on no proporciona energia durant les hores nocturnes, on podria passar que hi hagués demanda que no podria suplir sol, però sí que podria suplir el vent, degut a que aquest recurs no depèn de l'hora del dia.

D'altra banda, en el cas més optimista es considera que l'energia solar pot tenir més aportació per optimitzar el sistema que en el més conservador, ja que la demanda és més baixa i els factors de càrrega de les renovables arriben a valors més elevats.

A la taula següent es troben sintetitzats els diferents valors de sortida per a les situacions descrites (veure taula 9):

	Cas optimista	Cas conservador
Potència instal·lada solar [kW]	71274917,53	0
Nombre de panells solars de 100kW a instal·lar	712750	0
Potència instal·lada eòlica [kW]	27969371,96	61753120,33
Nombre de molins de vent de 5000kW a instal·lar	5594	12351
Potència instal·lada cicle combinat [kW]	7666521,66	13563912,37
Inversió per habitant en cicle combinat [€/habitant]	82,98	146,82
Emissions de CO <sub>2</sub> [kg]	1,91E+10	3,02E+10
Percentatge de energia generada a partir de centrals de cicle combinat [%]	10,5	15,4

Taula 9 Valors trobats en les situacions límit

A partir de l'anàlisi d'aquesta taula es pot comprovar com tant per la situació més optimista com per la més conservadora, és necessària la inversió per tal d'assegurar la creació d'un sistema robust generant energia amb centrals de cicle combinat.

## 7. Conclusions

Com s'ha comentat anteriorment, la finalitat d'aquest projecte era la d'analitzar i quantificar de manera tècnica les afectacions que es tindran en el sistema energètic espanyol a l'any 2040, tenint en compte les diferents polítiques energètiques que s'han estat definint en els darrers mesos: el tancament de les nuclears i centrals de carbó i la substitució dels vehicles de combustió per vehicles elèctrics.

Per tal de fer-ho, s'ha implementat una programació amb el llenguatge python de la qual s'ha provat la seva aproximació a la realitat a partir de les dades actuals. Malgrat que s'ha realitzat alguna simplificació, s'ha pogut observar com els valors de les dades obtingudes a partir del programa dissenyat han sigut molts similars als que es tenen a la realitat.

Pel que fa a les dades d'entrada, pels factors de càrrega però més en concret de la demanda, que és la variable la qual ha vist modificat el seu valor, s'ha decidit provar amb uns intervals de variació prou raonables per tal de comprovar quina seria l'afectació si aquests variessin. Per tant, sembla que les aproximacions que es facin, degut a aquests marges d'error, seran prou robustes.

Una vegada demostrada la fiabilitat tant del programa com de les dades d'entrada, s'han obtingut els resultats per a l'any 2040, responenent a algunes de les preguntes que s'havien plantejat a l'inici del programa. Com s'ha pogut comprovar, malgrat que s'hagi realitzat una inversió addicional per tal de minimitzar el consum de gas en centrals de cicle combinat, aquest consum no s'ha pogut arribar a minimitzar. Aquest fet és degut a que l'estabilitat que proporcionen les energies estables en el temps no es pot complementar amb la variabilitat de les energies renovables, que són aleatòries i fluctuen en el temps, encara que s'afegeixin bateries en forma de reserves hidroelèctriques. La forma més òptima d'assegurar-ho seria la de maximitzar el que es pugui obtenir en energies renovables i definir les capacitats dels pantans per tal que tot el sobrant es pugui absorbir i sempre hi hagi un extra d'energia per a les situacions de dèficit.

Per tant, a partir d'aquest projecte s'ha pogut obtenir una situació en la que el repartiment de la inversió que hauria de realitzar cada habitant de la població s'ha optimitzat per tal de minimitzar la generació d'energia a partir de centrals de gas. A més a més, a partir de l'anàlisi de sensibilitats s'ha pogut determinar quina seria la situació més favorable i la més desfavorable i, amb aquestes, s'han quantificat els diferents paràmetres afectats.

## 8. Planificació

A continuació es mostrarà quina ha sigut la planificació establerta per tal de realitzar aquest projecte. Per fer-ho s'ha dividit la línia temporal en mesos, i aquests en la primera i segona quinzena. Aquesta planificació es pot observar en la taula següent (veure taula 10):

Mes	FEBRER	MARÇ		ABRIL		MAIG		JUNY
Quinzena	2	1	2	1	2	1	2	1
Decisió del tema								
Anàlisi de la viabilitat del tema								
Selecció del tutor del projecte								
Cerca d'informació de la situació actual								
Cerca d'informació de la problemàtica								
Anàlisi de la programació i adaptació a les necessitats del projecte								
Cerca de dades d'entrada del model								
Obtenció de resultats								
Escriptura de la memòria i dels annexes								

Taula 10 Planificació temporal del projecte

## 9. Pressupost

Prèviament a poder vendre el model energètic per a la situació futura al 2040, caldrà oferir un anàlisi econòmic per tal de valorar aquest projecte degut a les hores invertides de treball per part de l'enginyer que hi hagi treballat.

El preu total d'aquest projecte es pot observar en la següent taula, en la que es desglossen amb detall els diferents aspectes que suposen una despesa econòmica a l'hora d'implementar-lo (veure taula 11):

Paràmetre	Quantificació	Factor de conversió	Cost
<b>Lloguer de despatx + llum i aigua</b>	4 mesos	600 € / mes	2400 €
<b>Amortització d'equip de treball (portàtil + pantalla, 4 mesos 2500)</b>	1 workstation	2500 € / Workstation	220 €
	1 pantalla	100 € / pantalla	
	Ratolí + teclat	20 € / ratolí + teclat	
<b>Desplaçament amb vehicle propi per realitzar visites als clients</b>	4 viatges / mes 4 mesos	8,5 € / viatge	136 €
<b>Llicències informàtiques</b>	0	-	0 €
<b>Hores de treball d'enginyer</b>	21 dies al mes 8 hores al dia 4 mesos	50 € / hora	33600 €
<b>Total</b>	<b>36356 €</b>		

Taula 11 Despesa deguda a la implementació del model

## 10. Impacte ambiental

De la mateixa forma en que s'ha fet per tal de calcular el pressupost, es calcularà a continuació quin és l'impacte ambiental de la realització d'aquest projecte, tenint en compte els paràmetres que tenen algun tipus d'aportació. El resultat es pot observar en la taula següent (veure taula 12):

Paràmetre	Quantificació	Factor de conversió a CO <sub>2</sub>	Emissió de CO <sub>2</sub>
<b>km de recorregut en cotxe</b>	80 km / viatge 4 viatges / mes 4 mesos	0,15 kg CO <sub>2</sub> / km	192 kg CO <sub>2</sub>
<b>Energia elèctrica consumida per l'equip de treball (portàtil + pantalla)</b>	21 dies al mes 8 hores al dia 4 mesos 65 W + 18 W 55,78 kWh	0,399 kg CO <sub>2</sub> / kWh	22,256 kg CO <sub>2</sub>
<b>Energia elèctrica consumida per obtenir llum</b>	21 dies al mes 8 hores al dia 4 mesos 3 x 12 W 24,19 kW / h	0,399 kg CO <sub>2</sub> / kWh	9,653 kg CO <sub>2</sub>
<b>Total</b>	<b>223,908 kg CO<sub>2</sub></b>		

Taula 12 Despesa deguda a la implementació del model

## 11. Agraïments

Una vegada finalitzada la realització d'aquest projecte, m'agradaria agrair a totes aquelles persones que hi hagin participat, ja sigui directe o indirectament.

Primer de tot, m'agradaria donar a les gràcies al professor Jordi Freixa per la seva dedicació en aquest treball. Degut al seu seguiment i consells, he tingut la oportunitat de millorar la manera de com realitzar un projecte d'una de forma professional i d'aprendre molts aspectes tècnics de caire energètic que desconeixia fins al moment. A més a més, en tot moment m'ha proporcionat el suport que he anat necessitant a les diferents tasques que s'han anat elaborant.

D'altra banda, m'agradaria agrair tant a la meva família com als meus amics per tot el suport rebut tant en la elaboració del projecte com al llarg de tots els estudis universitaris realitzats, ja que gràcies al fet de que hagin estat allà, han fet que aquest viatge hagi valgut molt més la pena.



## Referencias

- [1] «Red Eléctrica Española,» 2018. Direcció: <https://www.ree.es/es/>.
- [2] U. N. d. Singapur, «Universitat Nacional de Singapur,» 2011. Direcció: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/02/el-co2-generado-por-la-energia-nuclear.html>.
- [3] «Datos Macro Expansión,» 2017. Direcció: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/espana>.
- [4] «Renovables Verdes,» 2017. Direcció: <https://www.renovablesverdes.com/el-parque-eolico-mas-grande-de-espana-esta-en-el-andevalo-huelva/>.
- [5] «Renovables Verdes,» 2017. Direcció: <https://www.renovablesverdes.com/las-7-centrales-hidroelectricas-mas-grandes-de-espana/>.
- [6] «Red Eléctrica Española,» 2018. Direcció: <https://www.ree.es/es/red21/eficiencia-energetica-y-consumo-inteligente/nuestros-habitos-de-consumo>.
- [7] «Red Eléctrica Española,» 2019. Direcció: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/interconexiones-internacionales>.
- [8] «Quantum Energia,» 2018. Direcció: <https://www.quantumenergia.es/es/coches-electricos-en-2040/>.
- [9] «El periódico,» 2018. Direcció: <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20181113/espana-prohibira-matriculacion-coches-diesel-gasolina-hibridos-desde-2040-7143700>.
- [10] «El país,» 2019. Direcció: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/02/08/companias/1549647160\\_807281.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/02/08/companias/1549647160_807281.html).
- [11] E. 16, «Energia 16,» 2018. Direcció: <https://www.energia16.com/cierre-de-las-centrales-de-carbon/>.
- [12] «Red Eléctrica Española,» 2019. Direcció: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/tablas/2019-02-14/1>.
- [13] «Population Pyramid,» 2019. Direcció: <https://www.populationpyramid.net/es/españa/2020/>.
- [14] «Red Eléctrica Española,» 2018. Direcció: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2018/12/red-electrica-se-suma-al-reto-de-la-movilidad-sostenible-para-promover-coche>.

electrico-en-municipios-facilitar-instalacion-puntos-recarga-publicos.

- [15] «Dirección Genral de Tráfico,» 2018. Direcció: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>.
- [16] ENTSOE, «ENTSOE,» 2019. Direcció: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/actualGenerationPerProductionType/show>.
- [17] «International Energy Agency,» 2015. Direcció: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS\\_-\\_Trends\\_2015\\_-\\_MedRes.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS_-_Trends_2015_-_MedRes.pdf).
- [18] «Centro de estudio de tecnologías energéticas renovables,» . Direcció: <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia61/HTML/articulo03.htm>.
- [19] «Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad,» 2019. Direcció: <https://www.entsoe.eu/>.
- [20] «Institute of Electrical and Electronics Engineers,» . Direcció: <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/spain/sabugal1.pdf>.
- [21] «Renovetec,» 2018. Direcció: <http://energia.renovetec.com/100-preguntas-sobre-energia/121-%C2%BFcu%C3%A1nto-cuesta-una-central-t%C3%A9rmica-de-ciclo-combinado>.
- [22] U. N. d. Singapur, «Universitat Nacional de Singapur,» 2011. Direcció: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/02/el-co2-generado-por-la-energia-nuclear.html>.